

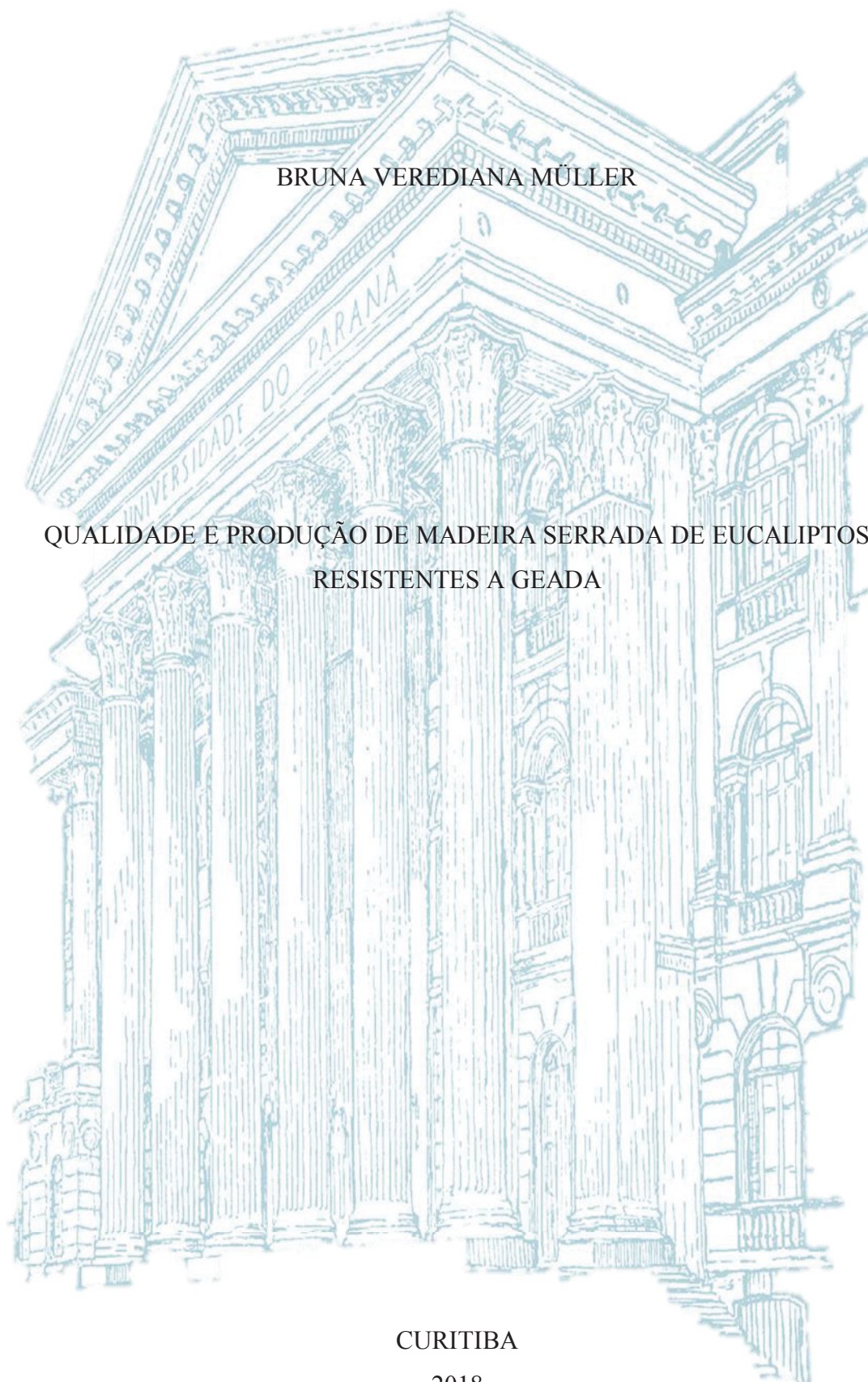
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNA VEREDIANA MÜLLER

QUALIDADE E PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA DE EUCALIPTOS
RESISTENTES A GEADA

CURITIBA

2018



BRUNA VEREDIANA MÜLLER

QUALIDADE E PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA DE EUCALIPTOS
RESISTENTES A GEADA

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha.

Coorientador: Prof. Dr. Alexsandro Bayestorff da Cunha.

Coorientador: Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke.

CURITIBA

2018

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Müller, Bruna Verediana

Qualidade e produção de madeira serrada de eucaliptos resistentes a
geada / Bruna Verediana Müller. – Curitiba, 2018.
108 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha

Coorientadores: Prof. Dr. Alexsandro Bayestorff da Cunha

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

Prof. Dr. Ricardo Jorge Klitzke.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa:
Curitiba, 17/08/2018.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira serrada - Qualidade. 2. Eucalipto. 3. Madeira - Propriedades
físicas e mecânicas. 4. Teses. I. Rocha, Márcio Pereira da. II. Cunha,
Alexsandro Bayestorff da. III. Silva, José Reinaldo Moreira da. IV. Klitzke,
Ricardo Jorge. V. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Agrárias. VI. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.854



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **BRUNA VEREDIANA MULLER** intitulada: **Qualidade e Produção de Madeira Serrada de Eucaliptos Resistentes a Geadas**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovacao no rito de defesa. A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 17 de Agosto de 2018.

MÁRCIO PEREIRA DA ROCHA
Presidente da Banca Examinadora

RICARDO JORGE KLITZKE
Avaliador Interno

THIAGO CAMPOS MONTEIRO
Avaliador Interno

RAQUEL MARCHESAN
Avaliador Externo

JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA
Avaliador Externo



A minha mãe Glaci, ao meu pai Armando, ao meu irmão Cristiano (*in memoriam*), ao meu
marido Ederson e a nossa pequena Manuela,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua infinita bondade.

Ao Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha pela orientação e oportunidade.

Aos Profs. Dr. Alexsandro Bayestorff da Cunha, Dr. José Reinaldo Moreira da Silva e Dr. Ricardo Jorge Klitzke por terem aceitado o convite para compor o meu comitê de orientação e por toda atenção dispensada nas diferentes etapas deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense – IFC, campus Rio do Sul, pela concessão dos afastamentos parcial e integral para cursar o doutorado.

À empresa Souza Cruz S/A pela doação do material utilizado neste estudo e ao Prof. Dr. Geedre Adriano Borsoi, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, pelo auxílio dado durante esse processo.

À Indústria de Madeiras Viviane e aos seus proprietários, o Sr. Vande e a Sra. Viviane, pelo transporte e processamento das toras e, em especial, pela sua grande hospitalidade e generosidade.

À Morgana Cristina França pela amizade e colaboração na realização das diferentes etapas deste trabalho.

Ao colega de pós-graduação Claudio Gumane Francisco Juizo pela ajuda na determinação do teor de umidade inicial e massa específica básica da madeira.

À Anna Carolina de Almeida Andrade por todo suporte prestado durante os ensaios de usinagem da madeira e por me receber tão bem Lavras.

Ao Heber Dutra Macedo, técnico do Laboratório de Usinagem da Madeira, da Universidade Federal de Lavras – UFLA, pelo auxílio nos ensaios de usinagem e na confecção dos corpos-de-prova para a determinação das propriedades mecânicas da madeira.

Ao Eduardo (Amém) e ao Vladimir pela sua hospitalidade durante a minha primeira estadia em Lavras. Foi muito bom conhecê-los!

Ao meu grande amigo, agora Dr. Tomaz Longui, pelos incontáveis favores prestados durante a pós-graduação e por sempre me receber em sua casa.

Ao Prof. Dr. Marcos Felipe Nicoletti, da UDESC, pela sua amizade, bom humor e colaboração na análise estatística deste trabalho.

À minha amiga e colega de IFC, Profª. M.^a Karla Funfgelt, por me auxiliar na confecção dos desenhos apresentados nesta tese.

Ao meu marido Ederson Gobbi, por todo amor, incentivo, apoio e companheirismo.

Aos meus pais, Armando e Glaci Müller, exemplos de fé e coragem, pelo amor incondicional, por todo apoio e educação que me deram.

Ao meu irmão Cristiano Eduardo Müller (*in memoriam*) pelo amor e por me ensinar que o que vale mesmo é ser feliz e estar juntos daqueles que amamos. Saudades infinitas!!

RESUMO

Este estudo teve como objetivo geral caracterizar a madeira de cinco espécies de *Eucalyptus* resistentes a geada que apresentam potencial de aproveitamento pela indústria de transformação. Assim, foram selecionadas árvores de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii* de 18 anos, provenientes de um plantio experimental, localizado na zona rural do município de Mafra, em Santa Catarina. Para cada espécie foram selecionadas seis árvores com diâmetro a 1,30 m do solo ($D_{1,30m}$) de 30 a 40 cm. Para determinação da massa específica básica e umidade inicial da madeira foram retirados discos nas diferentes alturas do fuste. Para realização das demais avaliações as árvores foram seccionadas em toras de 2,10 m de comprimento, destinando-se as toras da base para determinação da massa específica aparente, contração e propriedades mecânicas da madeira. As demais toras foram divididas em classes diamétricas de (i) 20,1 a 25,0 cm; (ii) 25,1 a 30,0 cm e (iii) maior que 30,0 cm, empregadas na determinação da qualidade das toras, do rendimento e qualidade de madeira serrada e da qualidade de usinagem da madeira. Os resultados obtidos para as propriedades físicas indicaram que as espécies estudadas apresentaram massa específica básica variando de média a alta, com valores entre $0,637 \text{ g.cm}^{-3}$, para *E. dorrigoensis*, e $0,743 \text{ g.cm}^{-3}$, para *E. smithii*, e elevada instabilidade dimensional com coeficientes de anisotropia de contração entre 1,87, para *E. smithii*, e 2,53, para *E. dorrigoensis*. Para as propriedades mecânicas da madeira, todas as espécies apresentaram resultados adequados para emprego em usos estruturais. Na avaliação da qualidade de toras, todas as espécies apresentaram boa qualidade com baixos índices de conicidade e de rachaduras de topo. Na avaliação da qualidade da madeira serrada, as menores intensidades de defeitos (rachaduras e empenamentos) foram apresentadas pela madeira de *E. dunnii* e *E. deanei*. Os maiores aproveitamentos médios em madeira serrada foram obtidos para *E. dunnii*, que foi de 58,42% para o rendimento bruto e de 45,57% para o rendimento líquido. Todas as espécies avaliadas apresentaram resultados de rendimento e intensidades e ocorrência de defeitos satisfatórios, indicando que podem ser recomendadas para a produção de madeira serrada em regiões de ocorrência de geadas. Para a usinagem da madeira, as diferentes metodologias de avaliação indicaram que as espécies avaliadas apresentaram baixa qualidade de superfície usinada.

Palavras-chave: *Eucalyptus* spp. Rendimento. Defeitos. Tábuas.

ABSTRACT

This study had as general objective to characterize the wood of five frost resistant *Eucalyptus* species that present potential for use by the processing industry. So, 18 years old trees of *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus smithii*, were selected an experimental plantation, located in the rural area of Mafra town, Santa Catarina state. For each species, six trees with diameter at 1.30 m of the soil ($D_{1,30m}$) of 30 to 40 cm were selected. For determination of the basic specific gravity and initial moisture of the wood, discs were removed at different trunk heights. For the other evaluations, the trees were sectioned in logs of 2.10 m in length and the base logs were used to determine the apparent specific gravity, shrinkage and mechanical properties of the wood. The other logs were divided into diametric classes of (i) 20.1 to 25.0 cm; (ii) 25.1 to 30.0 cm and (iii) greater than 30.0 cm, being used to determine the log quality, the lumber yield and quality, and the quality of machining of wood. The results obtained for the physical properties indicated that the studied species presented basic specific gravity ranging from medium to high, with values between 0.637 g.cm^{-3} for *E. dorrigoensis* and 0.743 g.cm^{-3} for *E. smithii*, and high dimensional instability with shrinkage anisotropy coefficients between 1.87 for *E. smithii* and 2.53 for *E. dorrigoensis*. For the wood mechanical properties, all species presented satisfactory, presenting potential for use in structural uses. In the evaluation of the logs quality, all species presented good quality, with low taper and top splits index. In the evaluation of the lumber quality, the lower defect intensities (splits and warping) were presented by *E. dunnii* and *E. deanei* wood. The highest lumber yields obtained for *E. dunnii*, which was 58.42% for the gross yield and 45.57% for the net yield. All species presented satisfactory results for yield lumber and for defects intensities and occurrence, indicating that they can be recommended for lumber production in frost occurrence regions. For the wood machining, the different evaluation methodologies indicated that the species presented low machined surface quality.

Key-words: *Eucalyptus* spp. Yeld. Defects. Lumber.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ASPECTOS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus benthamii</i>	20
FIGURA 2 – ASPECTOS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus deanei</i>	21
FIGURA 3 – ASPECTOS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus dorrigoensis</i>	22
FIGURA 4 – ASPECTOS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	23
FIGURA 5 – ASPECTOS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus smithii</i>	24
FIGURA 6 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DA COLETA DE DISCOS AO LONGO DO FUSTE PARA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE INICIAL E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	35
FIGURA 7 – ESQUEMA DA RETIRADA DAS PRANCHAS DA SEÇÃO TRANSVERSAL DAS TORAS DA BASE PARA A CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	36
FIGURA 8 – MODELO DE DESDOBRIO GENÉRICO UTILIZADO PARA SERRAR TORAS DE <i>Eucalyptus</i> spp. DAS DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS AVALIADAS	38
FIGURA 9 - PILHAS PARA A CONDUÇÃO DA SECAGEM NATURAL DA MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	39
FIGURA 10 - OPERAÇÃO DE APLAINAMENTO MECÂNICO PARA TÁBUAS DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	41
FIGURA 11 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA TÉCNICA DO SUNSET LASER PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SUPERFÍCIE USINADA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	43
FIGURA 12 - SEQUÊNCIA DE TRATAMENTO DAS IMAGENS NO IMAGEJ® PARA POSTERIOR DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DA ÁREA DO DEFEITO.....	43
FIGURA 13 - REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS VALORES DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E O TEOR DE UMIDADE INICIAL DA MADEIRA	

	DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus</i> <i>dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	46
FIGURA 14 -	REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS VALORES DE ÍNDICE DE RACHADURAS DA MADEIRA SERRADA E O ÍNDICE DE RACHADURA DE TOPO DAS TORAS DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus</i> <i>benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	64
FIGURA 15 -	REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS VALORES DE RENDIMENTO LÍQUIDO EM MADEIRA SERRADA E ÍNDICE DE RACHADURAS DAS TÁBUAS SECAS DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus</i> <i>benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	80

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus cloeziana</i> , <i>Hymenolobium petraeum</i> E <i>Goupia glabra</i> A 12% DE UMIDADE.	28
TABELA 2 – NÚMERO DE TORAS SELECIONADAS POR ESPÉCIE.....	35
TABELA 3 – NOTAS ATRIBUÍDAS PARA A QUALIDADE DE SUPERFÍCIE DE MADEIRA USINADA	42
TABELA 4 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE UMIDADE INICIAL DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	45
TABELA 5 – VALORES MÉDIOS DE UMIDADE INICIAL DA MADEIRA AO LONGO DA ALTURA DAS ÁRVORES DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	46
TABELA 6 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	48
TABELA 7 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA AO LONGO DA ALTURA DAS ÁRVORES DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	49
TABELA 8 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% DE UMIDADE DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	51
TABELA 9 – VALORES MÉDIOS DE CONTRAÇÃO DA MADEIRA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	53
TABELA 10 – VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA A 12 % DE UMIDADE DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	56

TABELA 11 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE CONICIDADE DE TORAS DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	58
TABELA 12 – VALORES MÉDIOS DE CONICIDADE DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	59
TABELA 13 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE ÍNDICE DE RACHADURA DE TOPO DE TORAS DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	60
TABELA 14 – VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE RACHADURA DE TOPO DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	60
TABELA 15 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	62
TABELA 16 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA A RACHADURA, NAS CONDIÇÕES ÚMIDA E SECA, NA MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	63
TABELA 17 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O ARQUEAMENTO, NAS CONDIÇÕES ÚMIDA E SECA, NA MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	68
TABELA 18 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O ENCURVAMENTO, NAS CONDIÇÕES ÚMIDA E SECA, NA MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	72
TABELA 19 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O ENCANOAMENTO NA MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	75

TABELA 20 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus</i> <i>benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	76
TABELA 21 – VALORES MÉDIOS DO RENDIMENTO BRUTO EM MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	77
TABELA 22 – VALORES MÉDIOS DO RENDIMENTO LÍQUIDO EM MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	80
TABELA 23 – VALORES DE AVANÇO POR DENTE MEDIDO APÓS O APLAINAMENTO PARA A MADEIRA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus</i> <i>benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	82
TABELA 24 – PERCENTUAIS DOS CORPOS-DE-PROVA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus</i> <i>benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i> CLASSIFICADOS SEGUNDO A NORMA D1666 – 11 APÓS O APLAINAMENTO.....	83
TABELA 25 – ÁREA DO DEFEITO MÉDIA OBTIDA PELO MÉTODO DO <i>sunset laser</i> APÓS O APLAINAMENTO PARA A MADEIRA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus</i> <i>dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i>	85
TABELA 26 – ÁREA DO DEFEITO MÉDIA OBTIDA PELO MÉTODO DO <i>sunset laser</i> PARA OS CORPOS-DE-PROVA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES <i>Eucalyptus benthamii</i> , <i>Eucalyptus deanei</i> , <i>Eucalyptus dorrigoensis</i> , <i>Eucalyptus</i> <i>dunnii</i> E <i>Eucalyptus smithii</i> CLASSIFICADOS COM AS NOTAS 3, 4, E 5 SEGUNDO A ASTM D1666 – 11	86

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 O GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	18
2.1.1 <i>Eucalyptus</i> resistentes à geada	18
2.2 PROPRIEDADES DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i>	24
2.2.1 Propriedades físicas.....	24
2.2.2 Propriedades mecânicas.....	27
2.3 AS TENSÕES INTERNAS DE CRESCIMENTO E AS SUAS IMPLICAÇÕES	28
2.4 O EMPREGO DO <i>Eucalyptus</i> NA INDÚSTRIA DE MADEIRA SERRADA.....	29
2.5 A USINAGEM DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus</i>	31
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE COLETA	34
3.2 SELEÇÃO DO MATERIAL	34
3.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA.....	35
3.3.1 Propriedades físicas.....	36
3.3.2 Propriedades mecânicas.....	36
3.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS TORAS	37
3.5 PROCESSO DE DESDOBRO	37
3.6 AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA	39
3.7 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA ..	40
3.8 USINAGEM DA MADEIRA.....	40
3.8.1 Ensaio de usinagem.....	40
3.8.2 Avaliação da qualidade da superfície usinada	41
3.9 ANÁLISE DE DADOS.....	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS.....	45
4.1.1 Umidade inicial	45
4.1.2 Massa específica básica e aparente	47
4.1.3 Contração da madeira	52
4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS	55
4.3 QUALIDADE DE TORAS	58

4.3.1 Conicidade	58
4.3.2 Índice de rachadura de topo das toras	60
4.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA.....	61
4.4.1 Rachaduras.....	62
4.4.2 Arqueamento.....	67
4.4.3 Encurvamento	71
4.4.4 Encanoamento.....	74
4.5 RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA.....	76
4.6 QUALIDADE DE USINAGEM DA MADEIRA	81
4.6.1 Avanço por dente medido	81
4.6.2 Análise visual.....	83
4.6.3 Sunset laser	84
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	87
REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

O Brasil caracteriza-se como um dos principais produtores de florestas plantadas do mundo. De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2017), em 2016 o país possuía aproximadamente 7,84 milhões de hectares de plantios florestais, dos quais 5,7 milhões de hectares eram cultivados com o gênero *Eucalyptus* e 1,6 milhão de hectares com o gênero *Pinus*, concentrados principalmente na Região Sudeste e Sul, respectivamente.

Contudo, apesar da Região Sul ser tradicionalmente reconhecida como importante produtora de *Pinus*, ao longo dos últimos sete anos tem se verificado a estagnação e até mesmo a redução da área cultivada com o gênero na região. Esse processo decorre principalmente da substituição do cultivo do pinus por eucalipto, a exemplo do que vem acontecendo em outras regiões do Brasil. Somente entre os anos de 2010 e 2016, o crescimento dos plantios de eucalipto registrado nos três estados do Sul foi da ordem de 33,9%, passando de 536,9 mil para 719,0 mil hectares (IBÁ, 2017).

Essa substituição e aumento do cultivo de *Eucalyptus* estão relacionados às características silviculturais, sobretudo as elevadas taxas de crescimento e rusticidade e tem se intensificado, inclusive, em localidades sujeitas a ocorrência de geadas, porém de forma limitada, uma vez que o número de espécies que se adaptam a essa condição climática é restrito. Segundo Turnbull e Eldridge (1983), a maioria das espécies de *Eucalyptus* fora da sua região de ocorrência natural apresenta sensibilidade a temperaturas extremamente baixas, o que se caracteriza como o maior impedimento do seu uso em regiões de clima temperado.

Atualmente, nestes locais, destacam-se como principais espécies cultivadas o *Eucalyptus dunnii* Maiden e o *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage, que foram introduzidos visando atender as necessidades da indústria de celulose e papel. No entanto, outras espécies, como o *Eucalyptus deanei* Maiden (HIGA et al., 1997), o *Eucalyptus dorrigensis* (Blakely) L. A. S. Johnson & K. D. Hill (SIMÃO et al., 2011) e o *Eucalyptus smithii* R. T. Baker (FRIGOTTO et al., 2015) também vêm apresentando desenvolvimento silvicultural satisfatório em plantios experimentais. Em um futuro breve, esse material biológico poderá vir a substituir outras espécies, tradicionalmente utilizadas pela indústria local de beneficiamento da madeira.

Porém, para que isso seja possível, se fazem necessários estudos que avaliem o potencial de utilização dessas espécies, em especial, na produção de serrados já que reconhecidamente, quando empregada com esta finalidade a madeira de eucalipto tende a apresentar alguns inconvenientes como, a formação de rachaduras e empenamentos.

Esses defeitos são ocasionados, principalmente, pelas tensões internas de crescimento, além das propriedades intrínsecas da madeira e do plano de corte adotado e podem se manifestar durante os processos de desdobro e secagem da madeira. Dependendo da intensidade da manifestação dos defeitos, estes podem impactar no rendimento em madeira serrada, inviabilizando o uso de determinadas espécies.

Ante os aspectos levantados, visando fomentar o uso de novas espécies pela indústria madeireira, este estudo teve como objetivo geral caracterizar a madeira de cinco espécies de *Eucalyptus* resistentes a geada que apresentam potencial de aproveitamento pela indústria de transformação, considerando os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar tecnologicamente as espécies por meio da determinação das principais propriedades físicas e mecânicas da madeira;
- Determinar a qualidade das toras das espécies estudadas para a produção de madeira serrada;
- Avaliar o rendimento e a qualidade da madeira serrada das espécies estudadas;
- Comparar a qualidade de superfície usinada da madeira das espécies estudadas por meio de diferentes métodos de avaliação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O GÊNERO *Eucalyptus*

Pertencente ao grupo das angiospermas, ordem Myrtales, família Myrtaceae, o gênero *Eucalyptus* foi descrito pela primeira vez em 1789 por L'Héritier e atualmente possui mais de 800 espécies descritas, as quais ocorrem naturalmente na Austrália, Papua-Nova Guiné, Timor-Leste, Indonésia e Filipinas (FLORES et al., 2016). Ainda, de acordo com os mesmos autores, devido à sua grande diversidade de espécies e ao seu processo de evolução e especialização, o gênero ocorre desde regiões tropicais (latitude 3°S) a temperadas (latitude 43°S), desde regiões muito úmidas a muito secas e desde o nível do mar até as montanhas de picos nevados.

Segundo Coppen (2005), o *Eucalyptus* é o gênero arbóreo mais cultivado, especialmente nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, o que decorre do seu potencial de utilização nos diferentes segmentos da indústria florestal que inclui desde madeira serrada, geração de energia, produção de celulose e papel, até a extração de óleos.

Fora do seu local de ocorrência natural, o *Eucalyptus* apresenta grande importância comercial em países como África do Sul, China, Índia e Brasil, destacando-se também, porém de forma mais discreta, no Centro e Norte da África e nos países mediterrâneos (EUCLID, 2017).

No Brasil, de acordo com a IBÁ (2017), o *Eucalyptus* destaca-se como o principal gênero cultivado em plantios florestais, apresentando, em 2016, uma produtividade média de 35,7 m³/ha/ano, colocando o país, mais uma vez, na posição de líder do ranking global de produtividade florestal. Todavia, conforme Pereira et al. (2000), apesar desses atributos e embora compreenda um grande número de espécies com madeiras de características físico-mecânicas e estéticas muito diferenciadas, a gama de espécies de *Eucalyptus* cultivadas em escala comercial no país é pequena.

2.1.1 *Eucalyptus* resistentes à geada

As geadas apresentam-se como um dos principais fatores de limitação para o cultivo de eucaliptos em diversas partes do mundo. No geral, as espécies mais resistentes à essa condição climática são nativas da região Alpina da Austrália e, frequentemente, são de

crescimento lento e em determinadas situações ainda podem sofrer algum tipo de dano, sobretudo na ocorrência de geadas atípicas (HIGA, 1998).

A geada é considerada um fenômeno atmosférico que provoca a morte dos vegetais ou de suas partes, decorrentes da baixa temperatura do ar, congelando os seus tecidos. Podendo a morte ser ocasionada por ventos muito frios, soprando por muitas horas ou pelo resfriamento radiativo com o ar muito seco (PEREIRA et al., 2007).

Os danos provocados por geadas podem ocorrer em qualquer região do planeta, fora das zonas tropicais, em que ocorram temperaturas negativas. A intensidade das lesões depende da sensibilidade da vegetação ao congelamento e do tempo de exposição à essas temperaturas negativas. Quando consideradas as ocorrências de geada nos diferentes locais do planeta, verifica-se que o potencial de danos provocados por esse fenômeno é maior à medida que estes se aproximam dos pólos terrestres, observando-se que, apenas em latitudes entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, existem áreas relativamente extensas sem registro de temperaturas negativas. Contudo, até mesmo nessas áreas tropicais, em regiões mais elevadas, também podem ser observados danos ocasionados por geadas (SNYDER; MELO-ABREU, 2005).

Conforme Pereira et al. (2007), no Brasil as geadas são frequentes nas latitudes acima do paralelo 19° S, compreendendo os estados de Minas Gerais (na região Sul e Triângulo Mineiro), São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. No entanto, a região Sul do país destaca-se como uma das mais afetadas, devido a trajetória das massas polares de sul para norte, provenientes da Antártida (SIMÕES, 2015).

Por esse motivo, o crescimento dos plantios de *Eucalyptus* em alguns locais no Sul do Brasil tem sido limitado, pois, embora o gênero compreenda centenas de espécies, poucas são resistentes ao frio e à ocorrência das geadas com variações bruscas de temperatura (PEREIRA et al., 2003; SANTOS et al., 2012).

No passado, a principal espécie de eucalipto cultivada nessa região era o *Eucalyptus viminalis* Labill, mas, por apresentar baixa produtividade de madeira e acentuada grã espiralada, impossibilitando o seu emprego na obtenção de produtos serrados e laminados, deixou de ser cultivado (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006). Posteriormente, passou-se a investir no *Eucalyptus dunnii* Maiden, cujo cultivo tem se mantido até os dias atuais, uma vez que é avaliada como uma espécie de bom crescimento, porém, considerada por alguns pesquisadores mais resiliente do que resistente ao frio. Contudo, nos últimos anos, o interesse dos silvicultores do Sul voltou-se para o *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage, em função do seu grande potencial de crescimento e resistência à geada (SANTOS et al., 2012).

Todavia, além do *E. dunnii* e do *E. benthamii* existem outras espécies resistentes ao frio com potencial para cultivo em regiões de ocorrência de geadas, com destaque para o *Eucalyptus dorrigoensis* (Blakely) L. A. S. Johnson & K. D. Hill, o *Eucalyptus smithii* R. T. Baker (SANTOS et al., 2012) e o *Eucalyptus deanei* Maiden (HIGA et al., 1997).

2.1.1.1 *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage

De origem subtropical, o *E. benthamii* é uma espécie arbórea de grande porte, que ocorre naturalmente entre a latitude 33°S e 34°S, na costa do estado australiano de Nova Gales do Sul, entre 50 e 800 m de altitude, predominantemente no tipo climático Cfb (subtropical úmido com verão temperado) e em menor proporção no tipo Cfa (subtropical úmido com verão quente), em regiões com temperatura média anual entre 13 e 17 °C e precipitação anual entre 900 e 1.400 mm (FLORES et al., 2016).

Fora da Austrália, existem relatos do cultivo de *E. benthamii* no Chile, Uruguai (KJAER et al., 2004), África do Sul e China (PALUDZYSZYN FILHO et al., 2006). No Brasil, o cultivo dessa espécie é verificado apenas em regiões de clima frio (FLORES et al., 2016), onde, de acordo com Graça et al. (1999), foi introduzido em 1988 pela Embrapa Florestas em Colombo, no Paraná, demonstrando ao longo dos anos alta resistência a geada, rápido crescimento, boa forma de fuste e alta homogeneidade do talhão.

A madeira de *E. benthamii* (Figura 1) apresenta cerne de cor marrom avermelhada e alburno amarelo rosado (NISGOSKI et al., 1998) e é considerada de média massa específica básica (0,460 g.cm⁻³) (BOCAGE; ULERY, 2005; FLORES et al., 2016), sendo a espécie recomendada como matéria prima para as indústrias de celulose e papel (ALVES et al., 2011) madeira serrada (CUNHA et al., 2015), biomassa (LIMA et al. 2011), painéis (CUNHA et al., 2014), extração de óleos e uso ornamental (FLORES et al., 2016).

FIGURA 1 – ASPECTOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus benthamii*



FONTE: O autor (2018).

2.1.1.2 *Eucalyptus deanei* Maiden

O *E. deanei* caracteriza-se como uma espécie arbórea de grande porte, de origem subtropical, com distribuição natural entre as latitudes 27°S e 34°S nos estados australianos de Nova Gales do Sul e no Sul de Queensland, desde o nível do mar até 1.200 m de altitude. Ocorre sobretudo no tipo climático Cfb (subtropical úmido com verão temperado) e em menor proporção no tipo Cfa (subtropical úmido com verão quente), exigindo temperatura média anual entre 13 e 18°C e precipitação anual entre 700 e 1.500 mm (FLORES et al., 2016).

Segundo Matt (2014), quando considerado o cultivo de *E. deanei* ao redor do mundo, a espécie apresentou resultados promissores no Havaí e na África do Sul. No Brasil, Shimizu e Carvalho (2000), ao avaliarem a capacidade de adaptação e produção de madeira de 22 espécies de *Eucalyptus* na região de Quaraí, no Rio Grande do Sul, onde a ocorrência anual de geadas varia entre 16,7 a 41,3 episódios, verificaram que *E. deanei*, aos 9,5 anos de idade, dentre todas as espécies consideradas, apresentou um dos maiores incrementos volumétricos.

O *E. deanei* apresenta madeira (Figura 2) de cor vermelha (URIBE, 1978) e massa específica básica classificada como média (FLORES et al., 2016) com valores entre 0,440 e 0,530 g.cm⁻³ (Pereira et al., 2000), sendo recomendada para emprego em construções, produção de madeira serrada (FLORES et al., 2016), produção de carvão vegetal (JUIZO et al., 2017) e óleo essencial (DAGNE et al., 2000).

FIGURA 2 – ASPECTOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus deanei*



FONTE: O autor (2018).

2.1.1.3 *Eucalyptus dorrigoensis* (Blakely) L. A. S. Johnson & K. D. Hill

Até pouco tempo, o *E. dorrigoensis* era considerado uma subespécie de *E. benthamii*, no entanto, as duas espécies apresentam características distintas na estrutura externa do opérculo, na fase inicial do seu desenvolvimento (HIGA; PEREIRA, 2003; SIMÃO et al.,

2011). Porém, mesmo em algumas literaturas mais atuais, verifica-se que alguns autores ainda desconhecem essa distinção e continuam a utilizar a classificação antiga, o que justifica, em parte, a escassez de trabalhos científicos sobre o *E. dorrigoensis*.

E. dorrigoensis é uma espécie arbórea de grande porte que ocorre naturalmente na Austrália, desde o Sudeste de Tenterfield até o Macleay River, entre 700 e 1.200 m de altitude (HUNTER; ALEXANDER, 1999), em regiões com temperaturas entre 4 e 26°C e precipitação anual de 1.100 mm, tolerando geadas moderadas (SIMÃO et al., 2011).

Além da Austrália, os plantios de *E. dorrigoensis* são encontrados no Uruguai, Chile (CAMCORE, 2011), Argentina (JUAN et al., 2011), Estados Unidos (QUINN et al., 2015), África do Sul (NEWETE et al., 2011) e China (ARNOLD et al., 2015). No Brasil existem informações de que essa espécie é cultivada nos estados do Rio Grande do Sul (SMANIOTTO et al., 2017) e Santa Catarina (SIMÃO et al., 2011).

A massa específica básica da madeira de *E. dorrigoensis* (Figura 3) é de 0,490 g.cm⁻³ e a espécie é recomendada para a produção de celulose e papel, móveis (SIMÃO et al., 2011) e geração de energia (QUINN et al., 2015).

FIGURA 3 – ASPECTOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus dorrigoensis*



FONTE: O autor (2018).

2.1.1.4 *Eucalyptus dunnii* Maiden

O *E. dunnii* é uma espécie arbórea de grande porte, de origem subtropical, de distribuição natural restrita às latitudes 28°S e 30°S, no litoral dos estados australianos de Queensland e Nova Gales do Sul, em altitudes entre 100 e 900 m. A ocorrência dessa espécie é verificada principalmente no tipo climático Cfa (subtropical úmido com verão quente), mas também é verificada nos tipos Cfb (subtropical úmido com verão temperado) e Cwb (subtropical com inverno seco e verão temperado), em regiões de temperatura média anual entre 16 e 19 °C e precipitação anual entre 900 e 1.600 mm (FLORES et al., 2016).

Além do seu país de origem, a Austrália, existem relatos de cultivo de *E. dunnii* na Argentina, África do Sul, China (FERREIRA et al., 1997), Índia (TRUEMAN et al., 2013) e Uruguai (HIRIGOYEN; RACHID, 2014). De acordo com Paludzyszyn Filho et al. (2006), no Brasil, *E. dunnii* destaca-se como uma das principais espécies cultivadas em região de clima temperado, com potencial produtivo superior a 50 m³/ha/ano de madeira para múltiplos usos.

Segundo Lopes (2007) a madeira de *E. dunnii* (Figura 4) apresenta cerne de cor bege e albúrneo de cor bege acinzentado. A massa específica básica da madeira de *E. dunnii* (Figura 4) é de 0,570 g.cm⁻³ (HERNÁNDEZ et al., 2014a), sendo classificada como média (FLORES et al., 2016). Conforme Paludzyszyn Filho et al. (2006), essa espécie apresenta uma grande versatilidade de uso da sua madeira, o que se caracteriza como uma das justificativas para a prevalência de suas plantações sobre as demais espécies do mesmo gênero. Na literatura o *E. dunnii* é recomendado para emprego em construções, postes (FLORES et al., 2016), produção de madeira serrada (VANCLAY et al., 2008), painéis (JAEGER; ZIGER, 2007), celulose e papel (HERNÁNDEZ et al., 2014b), biomassa e óleos essenciais (TRUEMAN et al., 2013).

FIGURA 4 – ASPECTOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*



FONTE: O autor (2018).

2.1.1.5 *Eucalyptus smithii* R. T. Baker

Também de origem subtropical, o *E. smithii* é uma espécie arbórea de grande porte, que ocorre naturalmente entre as latitudes 34°S e 38°S, na costa dos estados australianos de Nova Gales do Sul e Victoria, desde o nível do mar até 1.400 m de altitude, principalmente no tipo climático Cfb (subtropical úmido com verão temperado) e em menor escala no tipo Cfa (subtropical úmido com verão quente), em regiões com temperatura média anual entre 8 °C e 17 °C e precipitação anual entre 800 e 1.500 mm (FLORES et al., 2016).

Fora da Austrália o cultivo de *E. smithii* é encontrado em países como Nova Zelândia (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO,

1979), Vietnã (THUA et al., 2009), China (YONGQI et al., 1994), Ruanda (CHALCAT et al., 1997), África do Sul (PALLETT; SALE et al., 2004), Zâmbia (CHISOWA, 1997), Marrocos (ZRIRA et al., 2004), Espanha (PÉREZ et al., 2008), Portugal (FARIA et al., 2011) e Argentina (JUAN et al., 2011). De acordo com Konzen et al. (2017), no Sul do Brasil em áreas com clima subtropical, a espécie destaca-se como espécie alternativa para o cultivo de eucalipto, em função da sua considerável tolerância às geadas.

Conforme Fabrowski et al. (2003), a madeira de *E. smithii* (Figura 5) apresenta alburno de cor rosada e cerne de cor rosada a amarelada. Em relação à massa específica, Flores et al. (2016) classificam a madeira de *E. smithii* (Figura 5) como de alta massa específica básica (maior do que $0,650 \text{ g.cm}^{-3}$). Contudo, Pereira et al. (2003), ao avaliarem as características da madeira dessa espécie verificaram a massa específica básica média de $0,600 \text{ g.cm}^{-3}$.

FIGURA 5 – ASPECTOS DA MADEIRA DE *Eucalyptus smithii*



FONTE: O autor (2018).

Na grande maioria dos trabalhos encontrados na literatura, verifica-se que a principal utilização comercial do *E. smithii* é a produção de óleos essenciais (WEIHUI, 1997; CHALCAT et al., 1997; CHISOWA, 1997; ZRIRA et al., 2004; FARIA et al., 2011; JUAN et al., 2011), no entanto, também existem indicações para uso em construções (FLORES et al., 2016), geração de energia (PEREIRA et al., 2003) e na produção de celulose e papel (LITTLE; GARDNER, 2003).

2.2 PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Eucalyptus*

2.2.1 Propriedades físicas

Dentre as propriedades físicas da madeira, a que se destaca como de maior importância para a produção tecnológica e utilização é a massa específica. Isso porque, essa propriedade é resultado do arranjo dos constituintes anatômicos da madeira, fornecendo inúmeras informações sobre as suas características, uma vez que está correlacionada a diversas outras propriedades da madeira (SILVA et al., 2004).

De acordo com Kollmann e Côtê (1968), a massa específica de um corpo é definida como a “relação entre a sua massa e o seu volume” e se caracteriza como um dado importante para a classificação e seleção de madeiras, sendo um indicador de qualidade. No entanto, por ser resultado da constituição anatômica da madeira, que por sua vez é resultante da combinação de diversos fatores, que podem ser internos (proporção de cerne e albúrnio, posição no tronco, proporção de madeira adulta e juvenil) e externos à árvore (condições climáticas, tratamentos silviculturais e local de crescimento), essa propriedade pode apresentar variações entre espécies, dentro da mesma espécie e até dentro de uma mesma árvore (MIRANDA et al., 2012).

Para o Forest Products Laboratory – FPL (1987), como o teor de umidade faz parte da massa da madeira, a massa específica deve refletir esse fato e assim pode ser determinada e denominada de diferentes formas. A massa específica aparente é determinada pela relação entre a massa e o volume de um corpo de madeira considerando o mesmo teor de umidade, adotando-se frequentemente como padrão os teores de 12 e 0% de umidade (KOLLMANN, 1959). Enquanto a massa específica básica, visando padronizar as comparações e reduzir equívocos decorrentes do teor de umidade variável da madeira (FPL, 1987), é determinada com base na relação entre a massa de madeira completamente anidra e o seu volume em estado verde (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1997).

Neste sentido, Severo (2000) destaca que a maior parte dos eucaliptos possui massa específica básica entre 0,500 e 0,800 g.cm⁻³. Contudo, na literatura pode-se encontrar algumas variações. Silva et al. (2004), ao avaliarem a madeira de *Eucalyptus grandis* de plantios comerciais de 10, 14, 20 e 25 anos, observaram uma massa específica básica média de 0,410 g.cm⁻³. Já Oliveira et al. (2005), ao estudarem a densidade básica da madeira de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus pilularis*, *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* de diferentes idades, verificaram valores entre 0,490 e 0,730 g.cm⁻³.

A umidade da madeira é outra propriedade física importante e é definida pelo FPL (1987) como a relação entre a massa de água e massa de madeira, geralmente expressa em porcentagem. Segundo Kollmann e Côtê (1968), a umidade da madeira depende quase

todas as suas propriedades, verificando-se a sua influência sobre as propriedades mecânicas e energéticas, no rendimento e qualidade da sua celulose, na sua resistência ao ataque de fungos, no seu processo de secagem, na sua coloração e nos custos do seu transporte e armazenamento.

De acordo com Bauer (2003), a umidade inicial da madeira de eucalipto pode variar entre 60 e 100%. Barbosa et al. (2005), na elaboração de um programa de secagem da madeira de 10 clones híbridos de *Eucalyptus*, com idade de 7,5, 8,5 e 10,5 anos, observaram teores de umidade inicial variando entre 90 e 118%, com média de 102%. Já Stangerlin et al. (2009), ao avaliarem o uso de estufa solar para a secagem da madeira serrada de *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus saligna* e *C. citriodora* com aproximadamente 25 anos de idade, verificaram valores de umidade inicial entre 60 e 82%.

Outra propriedade física a ser considerada é a variação dimensional, caracterizada pela contração ou inchamento, que ocorre quando a madeira ganha ou perde umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, alterando as suas dimensões (FPL, 1987).

A contração e o inchamento decorrem da natureza higroscópica da madeira e são considerados importantes problemas práticos que ocorrem durante a sua utilização, devido às alterações no teor de umidade. A intensidade das variações dimensionais sofre influência de fatores como o teor de umidade, a direção estrutural (radial, tangencial ou longitudinal), a posição dentro da árvore, a massa específica da madeira, a temperatura e o grau de estresse de secagem causado pelo gradiente de umidade (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

Normalmente, a contração na direção tangencial da madeira é cerca de duas vezes maior do que na direção radial, variando muito pouco no sentido longitudinal. Assim, os efeitos combinados da contração tangencial e radial podem deformar as peças de madeira devido à essas diferenças de contração e à curvatura dos anéis de crescimento (FPL, 1987).

A razão entre as contrações tangencial e radial é denominada de fator ou coeficiente de anisotropia de contração e se constitui como um índice muito importante nos estudos de estabilidade dimensional, já que quanto maior essa relação, maior será a tendência de formação de rachaduras e empenamentos na madeira (MIRANDA et al., 2012). No entanto, alguns autores como Rocha (2000) destacam que, isoladamente, baixos valores de anisotropia de contração não são suficientes para caracterizar uma madeira como sendo estável ou instável, uma vez que espécies com baixa anisotropia de contração, podem apresentar contrações tangencial e radial excessivas, resultando muitas vezes, em empenamentos severos.

De acordo com Oliveira et al. (2010), os valores dos coeficientes de anisotropia de contração variam de 1,3 a 1,4, para madeiras muito estáveis, a mais de 3, para espécies extremamente instáveis dimensionalmente, como no caso de muitas espécies de *Eucalyptus*. Logo, segundo a classificação proposta por Klitzke (2007), com base no valor observado para o coeficiente de anisotropia de contração (A_c), a madeira pode ser considerada de alta estabilidade ($A_c < 1,5$), estável (A_c de 1,6 a 2), de baixa instabilidade (A_c de 2 a 2,5) e instável ($A_c > 2,6$).

Evangelista et al. (2010), ao determinarem o fator anisotrópico da madeira de *E. urophylla*, de 6,3 anos de idade, chegaram ao valor de 1,90. Do mesmo modo, Batista et al. (2010), para a madeira de *E. saligna*, *E. grandis* e *E. dunnii*, observaram os valores de 2,06, 2,05 e 2,36, respectivamente.

2.2.2 Propriedades mecânicas

Estas propriedades avaliam a capacidade da madeira suportar as solicitações mecânicas. Normalmente, são mesuradas considerando-se a sua resistência que é expressa pelo módulo de ruptura (MOR) que reflete a capacidade de carga máxima suportada pela madeira antes da ruptura (FPL, 1987) e, a sua rigidez, que é expressa pelo módulo de elasticidade (MOE) e reflete a capacidade da madeira resistir à deformação imposta pela carga, e é obtido nos ensaios de flexão estática, tração e compressão (KOLLMANN; CÔTÊ, 1968).

Para a determinação das propriedades mecânicas da madeira são realizados ensaios mecânicos aplicados na simulação da sua real utilização. Entre as principais propriedades avaliadas tem-se a resistência à flexão estática, resistência à compressão axial, resistência ao cisalhamento e dureza Janka (BELTRAME et al., 2010; BENJAMIN, 2006; MIRANDA et al., 2012).

As diferentes propriedades mecânicas da madeira são influenciadas por diversos fatores, como espécie, ângulo de inclinação das fibras, massa específica, teor de umidade, propriedades anatômicas, composição química, temperatura, forma e dimensões das peças e tempo de duração da carga durante o ensaio mecânico (STANGERLIN et al., 2010; BRAZ et al., 2013).

Conforme Lobão et al. (2004), quando se pensa em espécies de rápido crescimento como alternativa para a produção madeireira, o *Eucalyptus* destaca-se como um dos principais gêneros, não só pela sua capacidade produtiva, mas, sobretudo, pela sua diversidade de

espécies que atendem aos requisitos tecnológicos dos mais diversos segmentos da produção industrial madeireira. Neste sentido, verifica-se que as propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus*, se aproximam muito de algumas espécies nativas tradicionalmente utilizadas como fonte de matéria-prima para serrarias (Tabela1). Assim, considerando que as propriedades mecânicas são requisitos básicos para a utilização da madeira, Adorno e Garcia (2003), destacam que o gênero *Eucalyptus* atende às mais diferentes exigências destas propriedades.

TABELA 1 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus cloeziana*, *Hymenolobium petraeum* e *Goupia glabra* A 12% DE UMIDADE.

Propriedades mecânicas		<i>E. grandis</i>	<i>E. cloeziana</i>	<i>Hymenolobium petraeum</i> (Angelim pedra)	<i>Goupia glabra</i> (Cupiúba)
Compressão paralela às fibras	f_{c0} (MPa)	40,30 ¹	51,80 ¹	59,8 ¹	54,40 ¹
Flexão Estática	f_M (MPa)	84,14 ²	101,20 ²	109,34 ³	131,41 ³
	E_{M0} (MPa)	15647,59 ²	17291,68 ²	11572,00 ³	14612,00 ³
Cisalhamento	f_v (MPa)	7,00 ¹	10,50 ¹	8,80 ¹	10,40 ¹
Dureza Janka	$f_{H \text{ Perpendicular}}$ (N)	5207,33 ²	11110,93 ²	5786,00 ³	8140,00 ³
	$f_{H \text{ Paralela}}$ (N)	6511,62 ²	11444,36 ²	7659,00 ³	9993,00 ³

FONTE: ABNT (1997)¹, GONÇALEZ et al. (2006)², ARAÚJO (2007)³.

LEGENDA: f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; E_{c0} = módulo de elasticidade obtido no ensaio de compressão paralela às fibras; f_M = resistência à flexão estática; E_{M0} = módulo de elasticidade obtido no ensaio de flexão estática; f_v = resistência ao cisalhamento; $f_{H \text{ Perpendicular}}$ = dureza da madeira na direção perpendicular às fibras; $f_{H \text{ Paralela}}$ = dureza da madeira na direção paralela às fibras.

2.3 AS TENSÕES INTERNAS DE CRESCIMENTO E AS SUAS IMPLICAÇÕES

As tensões internas de crescimento da madeira têm origem nos esforços mecânicos gerados durante o crescimento das árvores, no processo de formação de novas células pelo câmbio, que durante o seu amadurecimento tendem a expandirem-se lateralmente e contraírem-se longitudinalmente, mas são contidas por células vizinhas já lignificadas (VÁZQUEZ, 2001; GONÇALEZ et al., 2006; BIECHELE et al., 2009). Assim, enquanto a árvore está em pé essas tensões atingem um equilíbrio, estando a porção mais periférica do tronco submetida a força de tração e a porção mais interna, próxima à medula, submetida a força de compressão (BLACKWELL; WALKER, 2006).

Porém, durante a derrubada das árvores, essas tensões são liberadas e/ou redistribuídas de tal modo que as tensões longitudinais são convertidas em tensões transversais, provocando a formação das rachaduras de topo das toras que também são observadas posteriormente nas peças serradas (LIMA et al., 2007; VALENCIA et al., 2011).

Esse processo de liberação das tensões, ainda é observado durante o desdobro quando, normalmente, as peças de madeira removidas da periferia do tronco tendem a diminuir o seu comprimento e as peças removidas próximas à medula tendem a alongar-se, dando origem aos empenamentos (encurvamento e/ou arqueamento) e a formação de rachaduras de superfície (CARVALHO et al., 2010; FLORENCE, 2004). Além desses defeitos, esse processo de liberação durante o desdobro também pode provocar a variação da espessura e da largura das tábuas produzidas (VALENCIA et al., 2011).

Essas consequências das tensões de crescimento podem reduzir o rendimento e a qualidade de madeira serrada, inviabilizando, em alguns casos, a sua utilização pela indústria de transformação, levando ao aumento dos custos de produção (CALONEGO et al., 2006; TRUGILHO et al., 2006; VALENCIA et al., 2011; HORNBURG et al., 2012).

As causas das tensões de crescimento ainda não são totalmente conhecidas, mas acredita-se que estas sejam influenciadas pela espécie, diâmetro da tora, idade, fatores genéticos, taxa de crescimento, inclinação do fuste, regime silvicultural implantado no plantio florestal, sistema de desdobro utilizado e posição que a peça serrada ocupava no fuste da árvore (CARVALHO et al., 2010; ANJOS; FONTE, 2017b).

Vale destacar ainda, que apesar da grande maioria das tensões de crescimento ser liberada na derrubada das árvores e no processo de desdobro das toras, seus efeitos também podem ser observados durante a condução do processo de secagem da madeira (LIMA; STAPE, 2017), principalmente quando combinadas com os efeitos das tensões de secagem, verificando-se a acentuação dos defeitos (CALONEGO et al., 2006; CADEMARTORI et al., 2015). Stangerlin et al. (2009), ao estudarem os efeitos da secagem na qualidade da madeira de *C. citriodora*, *E. saligna* e *E. tereticornis*, verificaram a elevação dos índices de rachaduras e intensidades de arqueamento e a redução das intensidades de encurvamento, não observando a manifestação de encanoamento. O mesmo foi observado por Rocha e Tomaselli (2002), para a madeira de *E. grandis* e *E. dunnii*, diferindo apenas com relação aos resultados de encanoamento, defeito este, que passou a ser observado para o *E. dunnii*, após o processo de secagem.

2.4 O EMPREGO DO *Eucalyptus* NA INDÚSTRIA DE MADEIRA SERRADA

O *Eucalyptus* é utilizado para a produção de madeira serrada em diversas partes do mundo. No Brasil, o gênero começou a se destacar na indústria de serrados principalmente a partir das duas últimas décadas e desde então, vem sendo objeto de uma série de estudos que

visam otimizar a sua utilização por meio da avaliação de diferentes espécies e técnicas de processamento (ROCHA; TOMASELLI, 2001; ROCHA; TRUGILHO, 2006; AMPARADO et al., 2008; HORNBURG et al., 2012; CUNHA et al., 2015; ANJOS; FONTE, 2017b).

Segundo Cademartori et al. (2015), a utilização do *Eucalyptus* como fonte de matéria-prima para serrarias apresenta-se como uma interessante alternativa para as indústrias do setor, o que decorre, conforme Lima et al. (2006), do seu rápido crescimento, boa adaptação às condições ambientais brasileiras e produção de madeira de boas propriedades físicas e mecânicas. Neste sentido, Anjos (2013) e Anjos e Fonte (2017b) destacam que nos últimos anos a madeira de *Eucalyptus* passou a ser apontada como uma das principais fontes de matéria-prima para a produção de serrados no Brasil, verificando-se mais recentemente dezenas de unidades industriais que trabalham exclusivamente com esse produto.

Contudo, quando considerado o volume de madeira de outros gêneros que são consumidos no Brasil para a produção de madeira serrada, verifica-se que o emprego do *Eucalyptus* com essa finalidade ainda é pequeno. Em 2016, dos 47,19 milhões de m³ de madeira de *Pinus* consumidos no país, 27,37 milhões de m³ (58,00%) foram destinados para a indústria de serrados, enquanto, no caso do *Eucalyptus*, dos 153,96 milhões de m³ consumidos, apenas 5,86 milhões de m³ (3,81%) tiveram o mesmo destino (IBÁ, 2017).

Para alguns autores, como Cademartori et al. (2015); Hornburg et al. (2012); Biechele et al. (2009) e Eleotério et al. (2014), o fator preponderante na limitação para a fabricação de produtos de maior valor agregado a partir do eucalipto relaciona-se aos defeitos originados pela liberação das tensões de crescimento, além da alta retratibilidade e da baixa difusidade da sua madeira. Todavia, essas características não são exclusividade da madeira de eucalipto e também são observadas na madeira de espécies nativas tradicionalmente empregadas na produção de serrados como *Manilkara* spp., conhecida como maçaranduba (DANIELLI et al., 2016), *Hymenaea courbaril*, conhecida como jatobá (MARCHESAN, 2012; MOTTA et al.; 2014), *Handroanthus serratifolius*, conhecida como ipê-amarelo, *Euplassa pinnata*, conhecida como louro-faia (RIBEIRO, 2017), entre outras.

Ao mesmo tempo, deve-se destacar que além dos fatores mencionados, existem outros que também afetam o processo de desdobro da madeira, em especial, no que diz respeito ao rendimento em madeira serrada. Murara Júnior et al. (2005), por exemplo, citam os produtos a serem fabricados, o maquinário e a mão de obra disponíveis e o diâmetro das toras. Já Cademartori et al. (2012), além desses fatores, mencionam ainda, a escolha adequada das técnicas de desdobro de acordo com a produção requerida e a qualidade de toras (conicidade, achatamento, encurvamento, sapopemas e ocos). Neste sentido, Crêspo (2000) ao

avaliar toras de *E. grandis* e *E. saligna*, verificou que a conicidade de toras afetou mais o rendimento em madeira serrada do que as rachaduras de extremidade de toras e de tábuas, provocadas pelas tensões internas de crescimento.

De acordo com Blackwell e Walker (2006), o rendimento do processo de desdobro é expresso em porcentagem e é obtido pela relação entre o volume de madeira serrada e o volume de toras. Ferreira et al. (2004), ao avaliarem a influência de métodos de desdobro tangenciais sobre o rendimento em madeira serrada de 10 clones híbridos de *Eucalyptus* spp., com idade variando de 7,5 a 10,5 anos, observaram rendimentos variando entre 47,5 e 51,5%. Já Cunha et al. (2015), ao determinarem o aproveitamento de *E. benthamii* e *E. grandis*, de 13 anos de idade, avaliando o desdobro tangencial e radial, concluíram que o desdobro tangencial apresentou maior rendimento em madeira serrada em relação ao radial, verificando que o rendimento médio bruto foi de 56,27% para *E. grandis* e de 52,96% para *E. benthamii*.

2.5 A USINAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus*

Para o uso correto da madeira de eucalipto na forma sólida, visando bons resultados em qualidade, o conhecimento da estrutura da madeira e os parâmetros de usinagem, bem como, o entendimento das suas relações, são imprescindíveis. Visto que, quando a madeira é destinada à confecção de produtos de maior valor agregado (móveis, assoalhos e esquadrias), que exigem alta qualidade de superfície, a usinagem bem executada melhora o seu desempenho ante os processos de acabamento superficial, tornando a operação economicamente ajustada (SILVA et al., 2005).

A usinagem da madeira pode ser definida como todo o processo pelo qual a forma de uma peça é modificada pela remoção progressiva de cavacos de tamanhos e formas variadas. Esse processamento pode ser considerado primário, quando as toras são transformadas em peças prismáticas (tábuas, pranchões, caibros, entre outros), ou secundário, quando as peças oriundas do processamento primário são retrabalhadas em operações como aplainamento, fresamento, furação, molduramento, lixamento e torneamento, melhorando o aspecto em suas superfícies (PALERMO et al., 2015).

No processamento da madeira, o aspecto da superfície usinada é considerada uma das mais importantes características da qualidade e tem função principalmente estética, estando relacionada ao atendimento as formas especificadas nos projetos e à obtenção de superfícies lisas, sem ondulações ou defeitos (LUCAS FILHO, 2004).

No Brasil, a superfície usinada da madeira pode ser qualificada por meio de metodologias como o avanço por dente e a análise visual, que é frequentemente utilizada em fábricas de móveis, sendo determinada manualmente pelo encarregado da produção (SORAGI, 2009; ANDRADE et al., 2016). Além dessas técnicas, alguns autores, como Silva et al. (2009), também mencionam emprego de técnicas de avaliação por meio do uso de laser que vem se destacando pela sua característica não destrutiva.

O avanço por dente calculado ($fz_{\text{calculado}}$) é baseado na relação entre a velocidade de avanço, rotação e número de gumes ativos da ferramenta (Equação 1) empregados na operação de usinagem. Essa metodologia indica que quanto menor o valor do avanço por dente, melhor será a qualidade do acabamento. De tal modo, a qualidade de superfície pode ser melhorada por meio da elevação da rotação do eixo da máquina e do número de dentes da ferramenta ou pela diminuição da velocidade de avanço.

$$fz_{\text{calculado}} = \frac{Vf * 1000}{n * v} \quad (1)$$

Onde:

$fz_{\text{calculado}}$ = avanço por dente calculado (mm);

Vf = velocidade de avanço da peça ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$);

n = rotação do eixo porta ferramenta (min^{-1});

v = número de gumes ativos da ferramenta (adimensional).

A análise visual, atualmente, é realizada com base na norma D1666 – 11 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 2011) que classifica a qualidade da superfície da peça de madeira após a usinagem, considerando a presença de defeitos gerados pelo ataque da ferramenta de corte. Para essa classificação, a referida norma atribui notas de 1 a 5 a esses defeitos, considerando a necessidade de retrabalho da superfície. Assim, a nota 1 corresponde à melhor qualidade da superfície, quando essa é considerada livre de defeitos, ao passo que a nota 5 corresponde à pior qualidade, com a maior intensidade de defeitos.

De acordo com Andrade et al. (2016), a análise visual devido à interferência do avaliador pode apresentar certa subjetividade, podendo ou não comprometer o processo de avaliação da superfície usinada. Por esse motivo, os autores mencionados, ressaltam a importância do estudo de técnicas capazes de qualificar a superfície, como o uso do laser de estado sólido que possuam caráter de repetitividade e reprodutibilidade dos dados.

Neste contexto, Soragi (2009) avaliou a superfície aplainada de *Toona ciliata* por meio do uso de laser de *He-Ne* de comprimento de onda de 638 nm (vermelho), considerando diferentes padrões de usinagem. Essa técnica foi denominada pela autora de *sunset laser* e consistia na iluminação dos corpos de prova por feixe de laser, refletido por espelho, na direção paralela à superfície da peça avaliada. As superfícies iluminadas foram capturadas por câmera de alta resolução e as imagens resultantes foram transformadas em matrizes de escalas de cinza (8 bits) e analisadas com o auxílio do *software* ImageJTM, por meio da geração de gráficos. Por meio dos resultados obtidos, a autora conclui que a análise de dados coletados por essa metodologia apresentou um padrão de variação semelhante ao obtido na utilização da norma D1666-87 (ASTM, 1995), indicando o uso do laser na análise da “rugosidade” como uma técnica promissora.

Já Andrade et al. (2016), ao avaliarem o uso da técnica de *sunset laser* na qualificação de superfícies usinadas da madeira de *Khaya ivorensis* e *Khaya senegalensis*, utilizando a luz laser com baixa inclinação (3°), incidindo paralelamente à superfície das peças, sem o uso de espelhos para a reflexão, verificaram que houve diferença de classificação dos defeitos da madeira entre este método e a norma D1666 – 11 (ASTM, 2001), concluindo que para determinadas classes de defeitos o *sunset laser*, em comparação a análise visual foi mais eficiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE COLETA

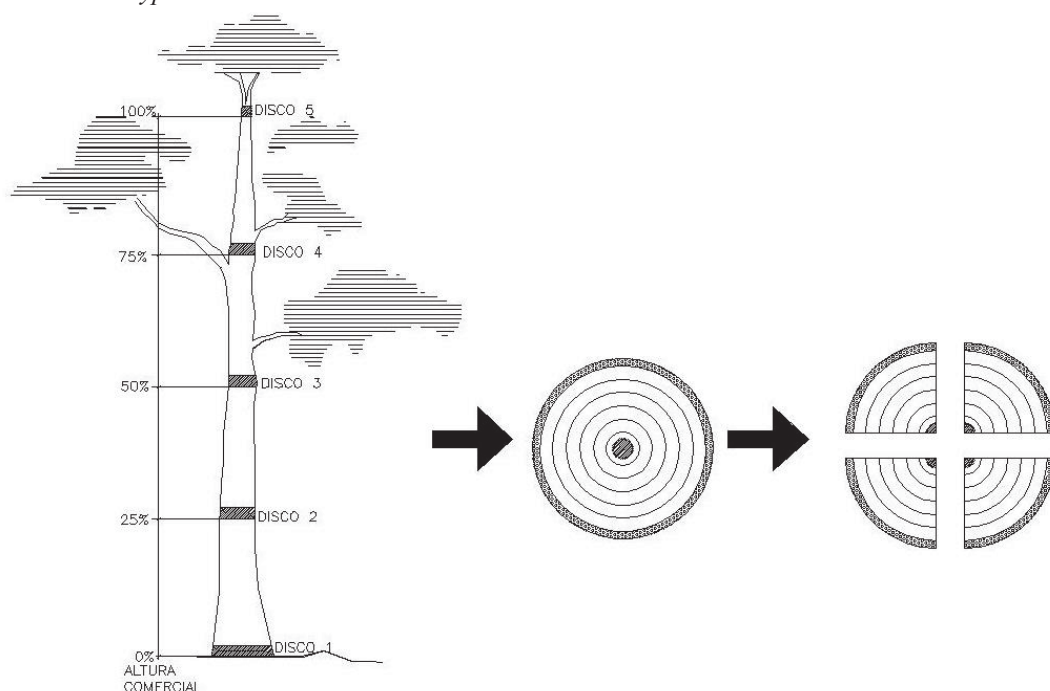
Para a realização deste estudo foram coletadas árvores em povoamentos experimentais de *E. benthamii*, *E. deanei*, *E. dorrigoensis*, *E. dunnii* e *E. smithii* com 18 anos de idade, de topografia plana. O material foi plantado no espaçamento de 3x2 m, na Fazenda Triângulo (26°29'37" S e 49°42'32" W), na zona rural do município de Mafra, Estado de Santa Catarina. A região caracteriza-se por apresentar precipitação total anual entre 1360 e 1670 mm e temperatura média anual entre 15,5 e 17°C, com temperatura média máxima entre 26 e 24°C e temperatura média mínima entre 10,8 e 11,8°C. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo temperado, constantemente úmido, sem estação seca, com verão fresco (Cfb) (EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI, 2016).

3.2 SELEÇÃO DO MATERIAL

Neste estudo foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado. Assim, para cada espécie foram selecionadas seis árvores, fora da área de bordadura e que apresentavam bom aspecto fitossanitário, tronco cilíndrico, sem bifurcações e diâmetro a 1,30 m do solo ($D_{1,30m}$) de 30 a 40 cm. Após a colheita, de três árvores, para a determinação da umidade inicial e da massa específica básica da madeira foram coletados cinco discos de 10 cm de espessura, a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial (Figura 6), a qual foi limitada ao diâmetro mínimo de 5 cm. Para evitar a perda de umidade, todos os discos coletados foram embalados separadamente em sacos plásticos vedados.

Ao longo do fuste das seis árvores selecionadas foram retiradas toras com 2,10 m de comprimento. Para a determinação da massa específica aparente, dos coeficientes de contração e das propriedades mecânicas da madeira, de todas as árvores e para cada espécie, foi selecionada a primeira tora da base. Já para a determinação da qualidade das toras, do rendimento e qualidade de madeira serrada, do material restante, foram selecionadas 75 toras, sendo 15 por espécie, divididas em três classes diamétricas (classe 1: 20,1 a 25,0 cm; classe 2: 25,1 a 30,0 cm; classe 3: maior que 30,0 cm), resultando em cinco toras por tratamento (Tabela 2).

FIGURA 6 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DA COLETA DE DISCOS AO LONGO DO FUSTE PARA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE INICIAL E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*



FONTE: O autor (2018).

TABELA 2 – NÚMERO DE TORAS SELECIONADAS POR ESPÉCIE.

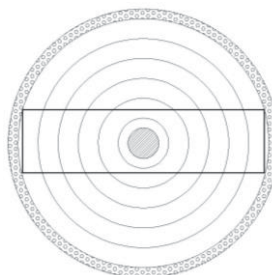
Espécies	Classe diamétrica de toras (cm)			Caracterização físico-mecânica
	20,1 - 25	25,1 -30	> 30	
<i>E. benthamii</i>	05	05	05	06
<i>E. deanei</i>	05	05	05	06
<i>E. dorrigoensis</i>	05	05	05	06
<i>E. dunnii</i>	05	05	05	06
<i>E. smithii</i>	05	05	05	06
Total	25	25	25	30

FONTE: O autor (2018).

3.3 CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA

Para a determinação das propriedades físicas e mecânicas, exceto para a umidade inicial e massa específica básica, de cada uma das toras selecionadas para a caracterização tecnológica da madeira foram retiradas pranchas com 12 cm de espessura pelo diâmetro da tora (Figura 7). Em seguida as pranchas foram processadas em peças de 12 x 12 cm e acondicionadas em câmara climática até atingirem a umidade de equilíbrio higroscópico de aproximadamente 12%, quando foram processadas para obtenção dos corpos-de-prova, produzidos de acordo com as normas empregadas na determinação das diferentes propriedades físicas e mecânicas.

FIGURA 7 – ESQUEMA DA RETIRADA DAS PRANCHAS DA SEÇÃO TRANSVERSAL DAS TORAS DA BASE PARA A CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*



FONTE: O autor (2018).

3.3.1 Propriedades físicas

Os ensaios para a determinação das propriedades físicas da madeira foram realizados no Laboratório de Secagem de Madeiras e no Laboratório de Tecnologia da Madeira – Propriedades Físicas e Mecânicas, no Centro de Ciências Florestais e da Madeira, da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Para a determinação da massa específica básica e da umidade inicial da madeira, os discos sem casca retirados nas diferentes alturas do fuste foram cortados em quatro cunhas de tamanhos homogêneos, totalizando 60 corpos-de-prova por espécie.

A umidade inicial da madeira foi quantificada pelo método gravimétrico de acordo com a NBR 14929 (ABNT, 2017), com base na massa inicial (úmida) e seca da madeira. Enquanto a massa específica básica foi determinada de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003) pela relação entre a massa seca em estufa e volume úmido.

A massa específica aparente da madeira a 12% de umidade foi determinada com base na Norma Panamericana 461 (COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS - COPANT, 1972a). Enquanto a determinação da contração da madeira foi baseada na Norma Panamericana 462 (COPANT, 1972b). Para ambas as propriedades foram utilizados 15 corpos-de-prova por espécie, de dimensões de 2,5 x 2,5 x 10 cm.

3.3.2 Propriedades mecânicas

Os ensaios para a determinação das propriedades mecânicas da madeira foram conduzidos no Laboratório de Propriedades da Madeira da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), campus de Lages.

Todos os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaio modelo EMIC DL30kN e foram baseados nas Normas Panamericanas 463 (COPANT, 1972c), 464 (COPANT, 1972d), 555 (COPANT, 1973) e 465 (COPANT, 1972e), para a determinação das propriedades de cisalhamento tangencial, compressão axial, flexão estática e dureza Janka, respectivamente. Assim, nos ensaios de resistência ao cisalhamento tangencial, compressão axial e dureza Janka foi utilizada célula de carga de 30kN, enquanto no de flexão estática de 2kN. Para cada uma das propriedades foram empregados 15 corpos-de-prova por espécie avaliada.

3.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS TORAS

Para a definição da qualidade das toras foram consideradas somente aquelas selecionadas para o processo de desdobro (75 toras), adotando como critérios de qualidade a conicidade e as rachaduras. A conicidade foi determinada com base na Norma para a Medição e Classificação de Toras de Madeira de Folhosas do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF (1984). As rachaduras de topo foram analisadas por meio do índice de rachaduras de topo das toras (IR), conforme a equação 2, determinado para cada extremidade, de acordo com a metodologia criada por Lima et al. (2002), obtendo-se na sequência o índice médio de rachaduras por tora.

$$IR = 200 \left(\frac{\sum_{i=1}^n a_i * C_i}{\pi * D^2} \right) \quad (2)$$

Onde:

IR = índice de rachaduras de topo das toras (%);

a_i = abertura máxima da rachadura i ($i = 1, \dots, n$) (cm);

C_i = comprimento dessa rachadura (cm);

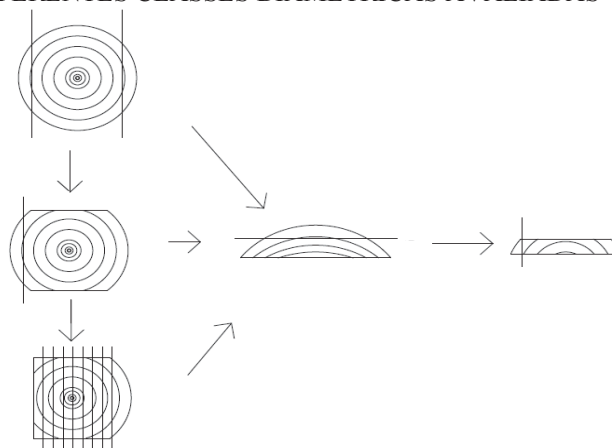
D = diâmetro da seção considerada (cm).

3.5 PROCESSO DE DESDOBRO

As toras foram desdobradas em até 72 horas após o traçamento, conforme a recomendação de Rocha e Trugilho (2006), produzindo peças com espessura nominal de 21 mm e faces, predominantemente, tangenciais. Neste processo, para cada classe diamétrica, visando a otimização do rendimento, foi utilizado um esquema de corte específico, gerado

pelo programa MaxiTora e desenvolvido pela empresa Optimber, mas baseados no mesmo modelo de desdobro (Figura 8).

FIGURA 8 – MODELO DE DESDOBRO GENÉRICO UTILIZADO PARA SERRAR TORAS DE *Eucalyptus* spp. DAS DIFERENTES CLASSES DIAMÉTRICAS AVALIADAS



FONTE: O autor (2018).

Assim, no processamento das toras pertencentes a classe 1 (de 20,1 a 25,0 cm de diâmetro), estas passaram três vezes em serra fita simples vertical e posteriormente foram resserradas em cortes sucessivos paralelos, com a mesma serra, obtendo seis tábuas com largura de 115 mm. As quatro costaneiras foram reaproveitadas em serra fita simples horizontal e refiladas em serra circular múltipla de cinco discos, resultando em tábuas com largura de 50 mm (uma peça), 75 mm (uma peça) e 85 mm (duas peças).

Já no desdobro das toras da classe 2 (de 25,1 a 30,0 cm de diâmetro), o esquema de corte adotado foi muito semelhante ao utilizado para a classe 1, diferindo em relação a este, no número de tábuas originadas no desdobro do semibloco (oito peças) e na largura das tábuas geradas no reaproveitamento das costaneiras, que foi de 75 mm (duas peças) e 130 mm (duas peças).

Enquanto no processamento das toras da classe 3 (superior a 30 cm de diâmetro), estas passaram duas vezes na serra fita simples vertical para a formação do semibloco que foi resserrado, produzindo nove tábuas de 105 mm de largura e duas costaneiras que foram descartadas. Já as outras duas costaneiras, obtidas na fase inicial, passaram três vezes em serra fita simples horizontal e, posteriormente, foram refiladas em serra circular múltipla de cinco discos, produzindo tábuas com larguras de 105 mm (quatro peças), 130 mm (duas peças) e 110 mm (duas peças).

Após o desdobro a madeira serrada foi seca ao ar livre no pátio da serraria, no distrito de Bateias de Cima, município de Campo Alegre, Estado de Santa Catarina. Para tanto, as

tábuas foram distribuídas em quatro pilhas de secagem cobertas, de forma aleatória (Figura 9), de modo a reduzir os efeitos da sua posição nas pilhas sobre a qualidade final da madeira, por um período de aproximadamente cinco meses, entre os meses de julho e dezembro de 2015. Na montagem das pilhas, cada uma das camadas de tábuas foi distribuída sobre cinco tabiques de dimensões de 2,5 x 2,5 x 120 cm, distanciados 42 cm entre si. Após a conclusão do processo de secagem, por meio do método gravimétrico, foi determinada a umidade média da madeira, cujo valor obtido foi de 17,5%.

FIGURA 9 - PILHAS PARA A CONDUÇÃO DA SECAGEM NATURAL DA MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* E *Eucalyptus smithii*



FONTE: O autor (2018).

3.6 AVALIAÇÃO DO RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA

Os rendimentos de madeira serrada foram obtidos cubando as toras (com casca) pelo método de Smalian e medindo as tábuas após o desdobro e após a secagem pelo método estereométrico. A espessura e a largura das tábuas foram tomadas por meio de paquímetro (0,01 mm) em três pontos de cada peça. Já o comprimento foi obtido com fita métrica (1 mm), em única medição na parte central da tábua. Também foi mensurado o comprimento das rachaduras presentes nas quatro faces e o comprimento das porções a serem removidas pelo processo de destopo, que além de padronizar o comprimento das tábuas em 2,00 m, eliminou as regiões de esmoado ou de desbitolamento.

Deste modo, de acordo com a metodologia usada por Cunha et al. (2015), para cada tratamento, resultante da combinação entre espécies e classes diamétricas, foram determinados (i) o rendimento bruto, que considerou o volume total de tábuas produzidas logo após o desdobro e (ii) o rendimento líquido, que considerou a padronização do comprimento das tábuas e a eliminação de regiões das peças com esmoado, desbitolamento ou com a presença de rachaduras, após o processo de secagem.

3.7 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA

Como parâmetros de qualidade, foram considerados o índice de rachaduras, intensidades de arqueamento e encurvamento, determinadas de acordo com a NBR 14806 (ABNT, 2002), além da intensidade de encanoamento, determinada de acordo com a metodologia utilizada por Rocha (2000). A coleta de dados para a determinação desses parâmetros foi realizada em conjunto com a tomada de dimensões das tábuas, tanto antes (condição úmida) como após (condição seca) a condução do processo de secagem, avaliando todas as tábuas produzidas.

3.8 USINAGEM DA MADEIRA

3.8.1 Ensaio de usinagem

O ensaio de usinagem foi realizado no Laboratório de Usinagem da Madeira da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Estado de Minas Gerais.

Os corpos de prova utilizados nesses ensaios foram retirados das tábuas após o processo de secagem e da avaliação do rendimento e qualidade da madeira serrada. Assim, por espécie foram utilizados 25 corpos de prova, climatizados em câmara climática a 12% de umidade de equilíbrio, com espessura nominal de 19 mm, comprimento de 600 mm e largura variando entre 95 e 130 mm, isentos de defeitos.

O ensaio de usinagem foi conduzido em plaina desempenadeira (Figura 10), em condições similares às adotadas por Andrade et al. (2016), utilizando cabeçote de 105 mm de diâmetro, com três facas novas de 3 mm de espessura, adotando velocidade de avanço de 15 m.min⁻¹, velocidade de corte de 19,24 m.s⁻¹ e rotação do eixo porta ferramenta de 3.500 min⁻¹. Para garantir o atendimento da velocidade de avanço pré-estabelecida foi utilizado um alimentador de avanço mecânico, acionado por um inversor de frequência.

FIGURA 10 - OPERAÇÃO DE APLAINAMENTO MECÂNICO PARA TÁBUAS DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* E *Eucalyptus smithii*



FONTE: O autor (2018).

3.8.2 Avaliação da qualidade da superfície usinada

A avaliação da qualidade de usinagem foi determinada utilizando como metodologias o avanço por dente, a análise visual e o uso do *sunset laser*. Todas as avaliações foram conduzidas em câmara climática, com objetivo de que não houvesse alteração da umidade, a qual pudesse interferir no estado das superfícies analisadas.

3.8.2.1 Avanço por dente

O avanço por dente medido ($f_{z_{medido}}$) foi obtido com base no número de cristas ou marcas presentes num ponto de leitura de 30 mm de comprimento por meio da equação 3. Para tanto, por corpo-de-prova foram considerados três pontos de leitura, distribuídos sistematicamente na porção central (um ponto) e nas extremidades (dois pontos) dos corpos-de-prova.

$$f_{z_{medido}} = \frac{C_{total}}{NC-1} \quad (3)$$

Onde:

$f_{z_{medido}}$ = avanço por dente medido (mm);

C_{total} = comprimento total do campo de leitura (mm);

NC = número de cristas presentes no comprimento total do campo de leitura (adimensional).

3.8.2.2 Análise visual

A qualificação visual da superfície usinada dos corpos-de-prova foi realizada de acordo com a norma D1666-11 (ASTM, 2011), conforme a tabela 3. Para minimizar os efeitos da subjetividade das avaliações, as mesmas foram feitas por três avaliadores previamente treinados, seguindo a metodologia descrita por Andrade et al. (2016).

TABELA 3 – NOTAS ATRIBUÍDAS PARA A QUALIDADE DE SUPERFÍCIE DE MADEIRA USINADA

Notas	Classificação da qualidade de superfície
1	Excelente
2	Boa
3	Regular
4	Ruim
5	Muito ruim

FONTE: ASTM (2011).

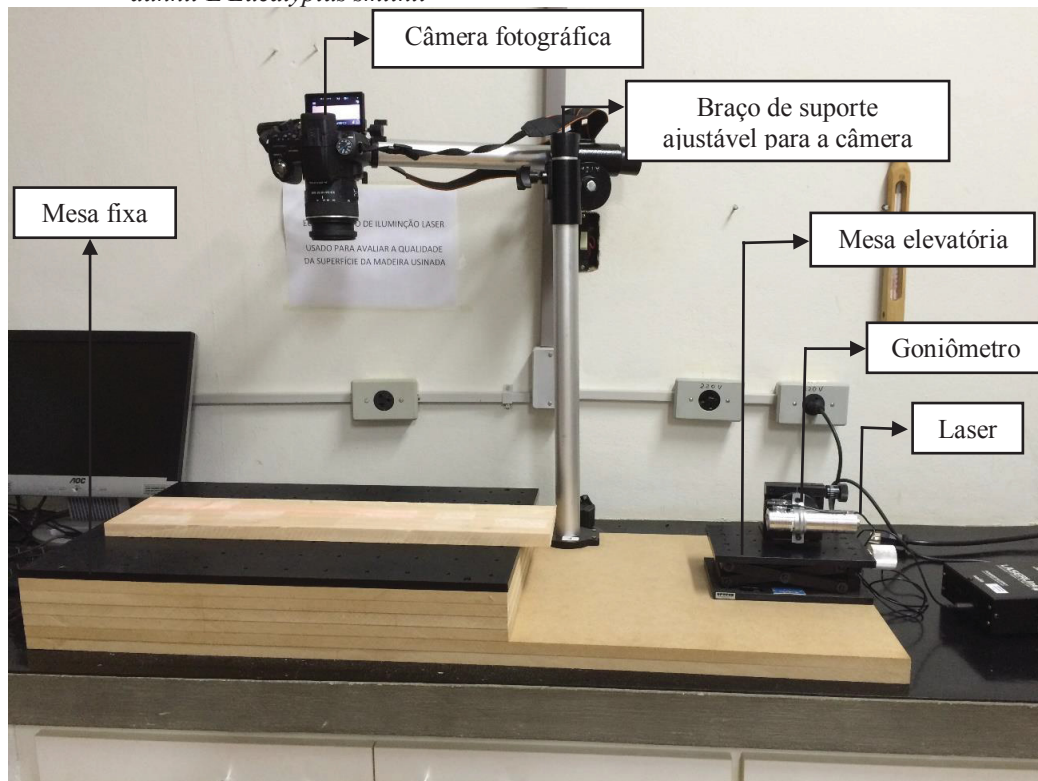
3.8.2.3 *Sunset laser*

A técnica do *sunset laser* para a avaliação da qualidade de usinagem foi realizada em conformidade com os procedimentos empregados por Andrade et al. (2016). Para tanto, as superfícies dos corpos-de-prova foram iluminadas por um laser de baixa intensidade e com baixo ângulo de inclinação (3°) por toda a sua extensão. Durante esse processo foram registradas imagens da superfície iluminada pela câmera fotográfica de alta resolução, distante 30 cm do corpo-de-prova e posicionada perpendicularmente à sua superfície (Figura 11).

As imagens obtidas foram analisadas pelo *software* ImageJ®. Assim, as imagens em formato RGB color foram convertidas em imagens de 8 bit, para posterior binarização (Figura 12), reduzindo a amplitude dos pixels de 0 a 255 para 0 a 40 (ANDRADE et al., 2016).

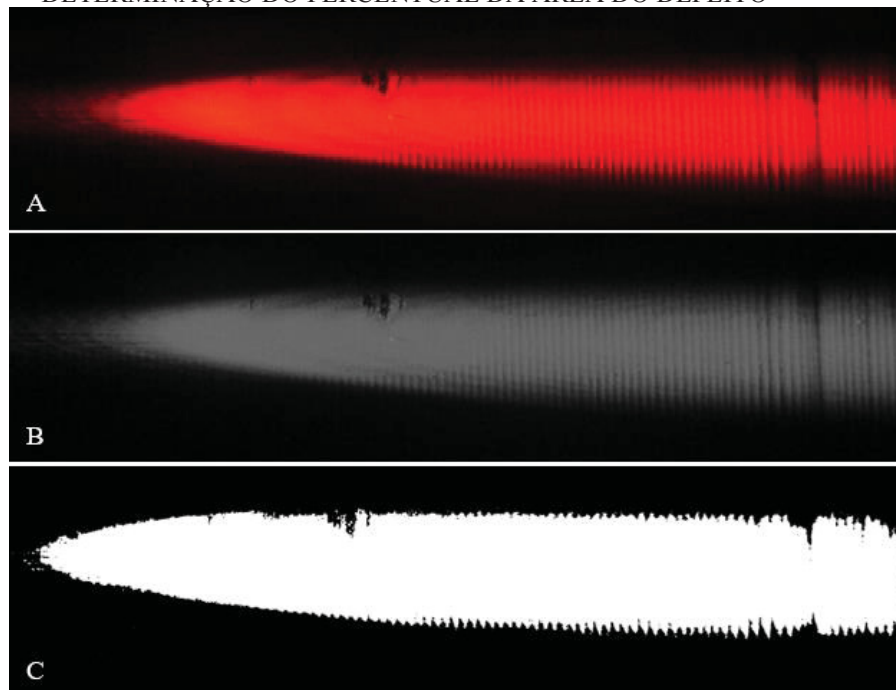
Após o tratamento, para cada uma das imagens, foi quantificada a área do defeito em três pontos de amostragem de formato retangular, com dimensões de 450 x 450 pixels, distribuídos sistematicamente. Nos pontos de amostragem, foi quantificada a porcentagem de pixels na cor preta, de valor igual a zero, presentes no seu interior e que correspondiam ao sombreamento dos defeitos de usinagem (ANDRADE et al., 2016).

FIGURA 11 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA TÉCNICA DO SUNSET LASER PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SUPERFÍCIE USINADA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* E *Eucalyptus smithii*



FONTE: O autor (2018).

FIGURA 12 - SEQUÊNCIA DE TRATAMENTO DAS IMAGENS NO IMAGEJ® PARA POSTERIOR DETERMINAÇÃO DO PERCENTUAL DA ÁREA DO DEFEITO



FONTE: O autor (2018).

LEGENDA: A = Imagem original, ainda em formato RGB; B = Imagem após a conversão de 8 bit; C = Imagem após a binarização.

3.9 ANÁLISE DE DADOS

A análise estatística foi realizada em delineamento inteiramente casualizado, considerando 5% de significância. De tal modo, na determinação da umidade inicial da madeira e da massa específica básica foi adotado arranjo bi-fatorial, sendo considerados os fatores espécie (cinco níveis) e posição no fuste (cinco níveis). Enquanto para as demais propriedades tecnológicas da madeira (massa específica aparente a 12% de umidade, contração, resistência à compressão paralela às fibras, flexão estática, cisalhamento tangencial e dureza Janka), o único fator ponderado foi a espécie (cinco níveis), assim como para os resultados obtidos para a qualidade de usinagem com base no avanço por dente e no *sunset laser*. Na avaliação da qualidade das toras e do rendimento em madeira serrada também foi adotado o arranjo bi-fatorial, considerando os fatores espécie (cinco níveis) e classe diamétrica (três níveis). Já na avaliação da qualidade da madeira serrada, foi utilizado arranjo multifatorial, considerando os fatores espécie (cinco níveis), classe diamétrica (três níveis) e condição de umidade (dois níveis).

Os dados foram testados quanto à normalidade, por meio do teste de Shapiro Wilk, e quanto à homogeneidade das variâncias, por meio do teste de Levene. Quando não verificados estes pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias, foram realizadas transformações matemáticas utilizando-se funções de logaritmo neperiano, raiz quadrada e transformação de Box-Cox para atender os critérios da estatística paramétrica. Posteriormente, os resultados foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA) e sempre que rejeitada a hipótese de nulidade ($P < 0,05$), realizou-se o teste de Tukey para comparação de médias, utilizando-se como ferramenta de trabalho o *Software R*®.

Os resultados obtidos na análise visual da qualidade de superfície usinada foram analisados por meio do percentual de peças verificados para cada uma das classes de qualidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

4.1.1 Umidade inicial

A análise de variância para os valores de umidade inicial indicou que os fatores espécie, posição no fuste, bem como a sua interação, apresentaram efeito significativo sobre os resultados obtidos (Tabela 4).

TABELA 4 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE UMIDADE INICIAL DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Fontes de Variação	Valores de p
Espécie	$< 2,20 \times 10^{-16}$ *
Posição	$< 2,20 \times 10^{-16}$ *
Espécie x Posição	$7,78 \times 10^{-10}$ *

FONTE: O autor (2018).

NOTA: * Significativo a 5% de significância ($p < .05$).

Lima e Garcia (2012), ao determinarem a umidade inicial da madeira de *E. grandis*, aos 18 anos de idade, também verificaram efeito significativo da posição vertical (Tabela 4). Contudo, Lopes e Garcia (2002), ao avaliarem a umidade inicial da madeira de *E. saligna* aos 22 anos de idade, concluíram que não houve influência da posição vertical.

Segundo os resultados do teste de médias (Tabela 5), para todas as espécies os maiores percentuais de umidade foram verificados na base das árvores (0%), apresentando uma tendência de redução ao longo do fuste. O *E. benthamii* e o *E. deanei* apresentaram as menores reduções que foram na ordem de 15,56 e 16,27%, respectivamente, enquanto o *E. dorrigoensis* chegou a apresentar uma redução de 32,17% da umidade. Resultados semelhantes foram observados por Lima e Garcia (2012), que para o *E. grandis*, observaram ao longo do fuste uma redução de 18,20% do teor de umidade.

Para o fator espécie, verificou-se que na maioria das posições ao longo da altura comercial, acompanhando a tendência apresentada pela média final obtida por espécie, as maiores umidades foram observadas para *E. dorrigoensis*, *E. deanei* e *E. benthamii* e as menores para *E. smithii*, seguido por *E. dunnii* (Tabela 5).

TABELA 5 – VALORES MÉDIOS DE UMIDADE INICIAL DA MADEIRA AO LONGO DA ALTURA DAS ÁRVORES DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

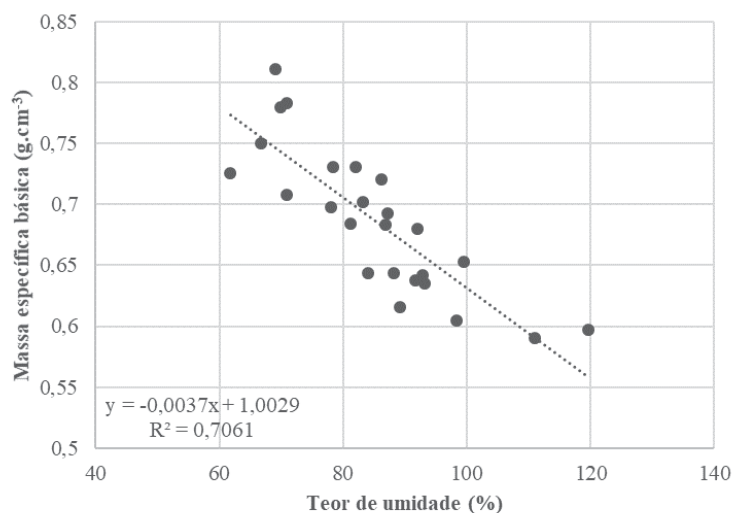
Espécie	Umidade inicial ao longo da altura comercial (%)					
	0%	25%	50%	75%	100%	Média
<i>E. benthamii</i>	99,41 B a (3,73)	93,17 A ab (3,66)	86,92 A bc (5,65)	81,98 A c (6,82)	83,94 AB bc (4,64)	89,04 B (8,62)
<i>E. deanei</i>	110,90 A a (8,1)	89,23 A b (6,07)	88,19 A b (6,59)	87,10 A b (0,05)	92,86 A b (9,54)	93,51 A (11,82)
<i>E. dorrigoensis</i>	119,58 A a (11,18)	98,28 A b (6,49)	91,93 A bc (5,69)	86,16 A cd (4,32)	81,11 B d (5,13)	93,87 A (15,00)
<i>E. dunnii</i>	91,69 BC a (6,45)	78,42 B b (9,90)	70,87 B bc (7,10)	69,90 B bc (6,65)	66,68 C c (7,99)	75,64 C (13,95)
<i>E. smithii</i>	83,14 C a (4,41)	78,11 B ab (9,33)	70,92 B bc (6,56)	69,05 B bc (6,40)	61,75 C c (11,55)	72,06 D (12,60)

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$); valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Esses resultados (Tabela 5) indicam uma correlação inversamente proporcional entre a massa específica básica e a umidade inicial da madeira (Figura 13), verificando-se que as espécies que apresentaram as menores umidades foram as mesmas a apresentarem os maiores valores de massa específica básica, o mesmo pode ser observado com relação à posição ao longo da altura. Essa correlação se deve as características anatômicas da madeira, uma vez que madeiras de menor massa específica básica apresentam maiores espaços intracelulares que são ocupados por água livre. Resultados análogos foram obtidos por Oliveira et al. (2005), Lopes e Garcia (2002) e Haselein et al. (2004).

FIGURA 13 - REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS VALORES DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E O TEOR DE UMIDADE INICIAL DA MADEIRA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* E *Eucalyptus smithii*



FONTE: O autor (2018).

Os valores médios de umidade inicial (de 72,06 a 93,87%), conforme a tabela 5, se aproximam dos observados por outros autores para a madeira de *Eucalyptus*, como Santos et al. (2004), que para a madeira de *E. grandis* de 8 anos de idade, verificaram valores entre 77,57 e 94, 54%. Enquanto Rocha (2000), observou os valores médios de 78,37% para a madeira de *E. dunnii* aos 16,5 anos e de 89,39% para a madeira de *E. grandis* aos 12 anos.

Todavia, na literatura, frequentemente os valores encontrados para a umidade inicial são mais elevados aos verificados no presente estudo (Tabela 5). Rezende et al. (2010) e Haselein et al. (2004), por exemplo, para a madeira de *E. urophylla* aos 8 anos, verificaram a umidade inicial média de 137% e para a madeira de *E. grandis* aos 27 anos, observaram a umidade inicial média de 99,5%, respectivamente.

Os baixos valores de umidade inicial observados para a madeira das espécies estudadas (Tabela 5) podem estar relacionados às condições meteorológicas durante o período de coleta do material, uma vez que as árvores selecionadas para este estudo foram derrubadas durante o mês de julho, no inverno, quando, comumente, são registradas as menores precipitações médias para a região onde foi efetuada a coleta. De tal modo, Engelund et al. (2013), afirmam que o teor de umidade inicial não é uma propriedade estática da madeira, pois varia entre árvores de uma mesma espécie, ao longo do tronco, entre estações climáticas e possivelmente com a hora do dia.

Do ponto de vista prático, quando se pensa na utilização da madeira para a produção de madeira serrada, a umidade inicial interfere diretamente nos custos de transporte das toras, de modo que, quanto maiores os teores de umidade inicial, maiores tendem a ser esses custos. Ainda, tem implicação no processo de secagem, interferindo na duração desse processo e na qualidade da madeira, sendo que quanto maior o gradiente umidade na madeira, maior é a tendência de formação de defeitos. Essa característica também afeta o processamento mecânico da madeira durante as operações de desdobro e usinagem. Além disso, embora não seja tão comum, alguns autores, como Hillis e Brown (1978), relacionam a umidade inicial da madeira a menor ou maior propensão de manifestação das tensões internas de crescimento, sugerindo que a madeira de árvores colhidas em estações de alta precipitação apresenta níveis de tensões de crescimento mais elevados do que a madeira de árvores colhidas em outros períodos.

4.1.2 Massa específica básica e aparente

Assim como foi verificado para a umidade inicial, a análise de variância para a massa específica básica (Tabela 6) indicou que os fatores espécie e posição no fuste apresentaram efeito significativo sobre os resultados obtidos, porém o mesmo não foi observado para a interação desses fatores.

TABELA 6 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorriigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Fontes de Variação	Valores de p
Espécie	0,000*
Posição	0,000*
Espécie x Posição	0,236 ^{ns}

FONTE: O autor (2018).

NOTA: * Significativo a 5% de significância ($p < .05$), ^{ns} não significativo ($p \geq .05$).

Considerando que o material analisado foi coletado no mesmo sítio e que todas as árvores apresentavam a mesma idade, esses resultados (Tabela 6) demonstram que além de variar entre espécies, a massa específica básica também apresentou variabilidade dentro das árvores. Neste sentido, Rocha (2000) destaca que o grande fator, muitas vezes limitante do uso da madeira de eucalipto, no que diz respeito a massa específica, é a grande variação encontrada dentro de uma mesma espécie.

Na realidade, essa variabilidade já era esperada em função do processo de crescimento natural das árvores e da variação das características dos elementos celulares, principalmente devido as diferenças verificadas entre o lenho adulto e juvenil. Além disso, as variações da massa específica no sentido radial e longitudinal do tronco, também podem ser provocadas por outras características anatômicas específicas como a deposição de substâncias extrativas, a presença de lenho de tração, a largura irregular dos anéis de crescimento e o crescimento excêntrico, que também podem interferir na trabalhabilidade e estabilidade dimensional da madeira.

Oliveira et al. (2005), ao estudarem sete espécies de *Eucalyptus* aos 16 anos de idade, a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, obtiveram resultados semelhantes ao deste estudo (Tabela 6), verificando que a posição longitudinal na árvore e a espécie exerceram efeito sobre a variabilidade da massa específica básica da madeira. Por outro lado, Lopes et al. (2011) ao avaliarem a massa específica básica da madeira de *E. grandis*, *E. dunnii* e *E. urophylla* aos 18 anos de idade, concluíram que a posição ao longo da altura não interferiu nos resultados.

O teste de médias para os resultados de massa específica básica (Tabela 7) demonstraram que para a madeira de *E. deanei*, *E. dorrigoiensis* e *E. dunnii*, os valores obtidos foram crescentes de 0 até 75% da altura comercial, quando ocorreu a sua estabilização. Resultados semelhantes foram obtidos por Trevisan et al. (2012), ao estudarem *E. grandis* aos 18 anos de idade. De acordo com Palermo et al. (2003) e Vale et al. (1999) esse padrão de variação longitudinal pode estar relacionado com a presença da copa das árvores, já que na região de inserção dos galhos ocorrem alterações na estrutura anatômica da madeira, que resultam na elevação da massa específica básica. Além desse aspecto, esses autores destacam que a formação do lenho de reação, resultante da ação do vento na copa da árvore, também podem influenciar no comportamento da massa específica básica ao longo da altura da árvore.

TABELA 7 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA AO LONGO DA ALTURA DAS ÁRVORES DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoiensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Espécie	Massa específica básica ao longo da altura comercial (g.cm ⁻³)					
	0%	25%	50%	75%	100%	Média
<i>E. benthamii</i>	0,653 AB a (16,92)	0,635 AB a (6,22)	0,683 AB a (13,58)	0,731 A a (6,60)	0,644 B a (12,38)	0,669 B (16,51)
<i>E. deanei</i>	0,590 B b (7,01)	0,616 B ab (4,54)	0,644 B ab (5,34)	0,693 A a (9,35)	0,642 B ab (15,03)	0,637 B (6,49)
<i>E. dorrigoiensis</i>	0,597 B b (9,32)	0,605 B b (5,36)	0,680 AB ab (9,77)	0,721 A a (5,99)	0,684 AB ab (17,77)	0,663 B (12,74)
<i>E. dunnii</i>	0,638 AB b (5,57)	0,731 A ab (11,07)	0,708 AB ab (7,60)	0,780 A a (7,98)	0,750 A a (9,76)	0,721 A (10,78)
<i>E. smithii</i>	0,702 A a (6,33)	0,698 AB a (9,77)	0,783 A a (11,35)	0,811 A a (13,34)	0,726 AB a (14,60)	0,743 A (5,98)

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$); valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Já para *E. benthamii* e *E. smithii*, não foi constatado estatisticamente nenhum padrão de variação para a massa específica básica ao longo da altura (Tabela 7). Neste sentido, Lopes e Garcia (2002) afirmam que, de modo geral, o padrão de variação longitudinal da massa específica básica não é constante para espécies de *Eucalyptus*.

Quanto ao efeito da espécie sobre a massa específica básica, foram verificadas diferenças significativas na maioria dos tratamentos (Tabela 7), observando, com base na média geral por espécie, que os maiores valores foram apresentados por *E. smithii* e *E. dunnii*. Todavia, verifica-se que as demais espécies avaliadas apresentaram valores que se aproximam dos obtidos para essas duas, sendo considerados de médios a elevados, se apresentado como

um aspecto muito positivo no que se refere a utilização da madeira dessas espécies pela indústria madeireira.

De acordo com a classificação de massa específica básica adotada por Flores et al. (2016), para espécies de *Eucalyptus* cultivadas no Brasil, considerando os resultados obtidos, a madeira de *E. deanei* pode ser classificada como de média massa específica básica (de 0,500 – 0,650 g.cm⁻³), e a madeira das demais espécies avaliadas, *E. bethamii*, *E. dorrigoensis*, *E. dunnii* e *E. smithii*, como de alta massa específica básica (superior a 0,650 g.cm⁻³).

Em comparação aos resultados observados na literatura, os valores médios de massa específica básica observados para as espécies estudadas (de 0,640 a 0,740 g.cm⁻³), em sua maioria, são superiores aos valores observados para a madeira do gênero *Eucalyptus*. Lopes et al. (2011), ao estudarem a massa específica básica da madeira de *E. dunnii*, *E. urophylla* e *E. grandis* aos 18 anos de idade observaram, respectivamente, os valores de 0,610 g.cm⁻³, 0,690 g.cm⁻³ e 0,580 g.cm⁻³. Essa superioridade também é observada quando esses resultados (Tabela 7) são confrontados aos verificados por outros autores que estudaram as mesmas espécies. Nones et al. (2015), ao avaliarem a madeira de *E. benthamii* de 4,5 e 13 anos de idade, obtiveram a massa específica básica média de 0,480 g.cm⁻³. Ao passo que Pereira et al. (2000), para o *E. dunnii* aos 4,5 e 8 anos, observaram valores de massa específica básica entre 0,440 e 0,550 g.cm⁻³.

Esses valores mais elevados de massa específica básica (Tabela 7), em comparação aos valores verificados na literatura, podem estar relacionados às características anatômicas inerentes às espécies estudadas, combinadas às condições de crescimento da árvore, sobretudo às relacionadas às condições de sítio. No entanto, quando são comparados materiais de idades diferentes para o gênero *Eucalyptus*, incluindo espécies idênticas, muito provavelmente, essa superioridade de valores está relacionada à composição da madeira, supondo que quanto maior a idade, menor tende a ser proporção de lenho juvenil e em consequência, maiores são os valores de massa específica básica da madeira. Sobre esse aspecto, os resultados aqui obtidos sugerem a viabilidade de se aumentar o tempo de rotação dos povoamentos de eucalipto, visando a melhoria das suas propriedades, principalmente quando o uso final pretendido é madeira sólida. Ao mesmo tempo, outro fator que pode explicar os resultados obtidos é o procedimento de coleta de amostras adotado na determinação dessa propriedade, uma vez que neste estudo, diferentemente dos trabalhos citados, as amostras de madeira foram retiradas ao longo de todo o tronco.

Os resultados aqui apresentados (Tabela 7), ainda são comparáveis à massa específica básica da madeira de algumas espécies nativas recomendadas na literatura para

emprego na construção civil, produção de assoalhos e móveis, como a *Hymenolobium petraeum* (0,590 g.cm⁻³), chamada de angelim-pedra; a *Goupia glabra* (0,710 g.cm⁻³), chamada de cupiúba; a *Bagassa guianensis* (0,680 g.cm⁻³), chamada de tatajuba (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT), 2013); a *Mezilaurus itauba* (0,780 g.cm⁻³), chamada de itaúba; a *Handroanthus impetiginosus* (0,790 g.cm⁻³), chamada de ipê (JANKOWSKY, 1990), e para emprego na produção de painéis colados lateralmente (*edge glued panel* - EGP) como a *Ocotea porosa* (0,590 g.cm⁻³), chamada de imbuia (JANKOWSKY, 1990).

Sobre a massa específica aparente a 12% de umidade (Tabela 8), diferentemente do observado para a massa específica básica, a análise de variância indicou que não houve diferença estatística entre as espécies avaliadas. Resultado este, que possivelmente decorreu dos diferentes processos de amostragem adotados na determinação dessas duas propriedades, uma vez que a massa específica aparente foi determinada por meio de amostras retiradas apenas da primeira tora da base da árvore.

TABELA 8 – VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% DE UMIDADE DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Espécie	Massa específica aparente a 12% (g.cm ⁻³)
<i>E. benthamii</i>	0,776 (15,76)
<i>E. deanei</i>	0,756 (10,74)
<i>E. dorrigoensis</i>	0,722 (15,12)
<i>E. dunnii</i>	0,750 (13,04)
<i>E. smithii</i>	0,781 (10,91)
Valores de p	0,054 ^{ns}

FONTE: O autor (2018).

NOTA: ^{ns} não significativo (p >= .05).

Ainda, quanto aos valores obtidos para a massa específica aparente a 12% de umidade, verifica-se que estes são superiores aqueles observados na literatura para o gênero *Eucalyptus*. Müller et al. (2014) ao determinarem as propriedades da madeira de *E. benthamii* aos 6 anos de idade, verificaram uma massa específica aparente a 12% de umidade de 0,610 g.cm⁻³. Já ABNT (1997), sem mencionar a idade do material considerado, cita valores de massa específica aparente a 12% de umidade de 0,640 g.cm⁻³ para o *E. grandis* e 0,730 g.cm⁻³ para o *E. saligna*. Do mesmo modo ao observado para a massa específica básica, essa

superioridade pode estar relacionada às características anatômicas inerentes às espécies estudadas e também à idade do material avaliado (18 anos), principalmente se for considerado que no Brasil, geralmente a madeira de eucalipto provém de povoamentos de rotação reduzida. Neste sentido Hillis e Brown (1978), afirmam que a massa específica de árvores maduras é maior do que a de árvores jovens e juvenis.

Desta forma, considerando que a massa específica tem grande influência nas demais propriedades físicas e mecânicas da madeira e por consequência interfere nos diferentes processos de conversão do material e analisando os resultados obtidos para as espécies avaliadas, tanto para a massa específica básica (Tabela 7), como para a massa específica aparente a 12% de umidade (Tabela 8), associados aos aspectos visuais da sua madeira, em especial a cor (Figuras 1, 2, 3, 4 e 5), verifica-se que estas apresentam um grande potencial no que se refere a sua utilização como madeira sólida. Esse potencial, fica ainda mais evidente quando consideradas a massa específica aparente de espécies que já são utilizadas pela indústria florestal, sugerindo que as espécies aqui estudadas podem ser empregadas para as mais diversas finalidades. Como empregos a serem considerados incluem-se desde a produção de móveis, acessórios de decoração, pisos, esquadrias, construção civil, até a produção de painéis, como os do tipo EGP, que se caracterizam como produtos de maior valor agregado. Entretanto, Hillis e Brown (1978) destacam que embora a massa específica forneça uma indicação da resistência e até mesmo dos usos da madeira, nem sempre essa relação é direta.

4.1.3 Contração da madeira

Os resultados obtidos para a contração da madeira são apresentados na tabela 9. Para a contração longitudinal não foram observadas diferenças significativas entre as espécies. Reconhecidamente a madeira apresenta pequenas contrações no sentido longitudinal e por isso, frequentemente essa propriedade é desconsiderada por muitos pesquisadores, como Lopes et al. (2011), Batista et al. (2010) e Benin et al. (2017). Neste sentido, Skaar (1988), afirma que a contração longitudinal, geralmente, é na ordem de 0,1 a 0,3%.

No entanto, destacam-se os elevados coeficientes de variação observados para as médias de contração longitudinal (Tabela 9), principalmente quando analisados os resultados para a madeira de *E. dunnii*, *E. deanei* e *E. benthamii*. Contudo, deve-se destacar que estes resultados exercem pouca influência nas questões relacionadas ao processamento da madeira. Resultados equivalentes foram constatados por Oliveira et al. (2010), que ao estudarem a madeira de sete eucaliptos (*C. citriodora*, *E. tereticornis*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E.*

cloeziana, *E. urophylla* e *E. grandis*), com aproximadamente 16 anos, optaram por não submeter os valores de contração longitudinal ao teste estatístico, devido à baixa variação entre espécies e aos valores extremamente elevados dos coeficientes de variação. Do mesmo modo, Carvalho et al. (2015), ao avaliarem a madeira de *E. grandis* e *E. cloeziana*, ambas com 16 anos, decidiram por não apresentar os resultados de contração longitudinal em função dos elevados coeficientes de variação observados para essa característica.

TABELA 9 – VALORES MÉDIOS DE CONTRAÇÃO DA MADEIRA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Espécie	β_{long} (%)	β_{tang} (%)	β_{rad} (%)	β_{vol} (%)	A_c
<i>E. benthamii</i>	0,22 (81,30)	12,51 (23,27)	6,49 A (26,94)	18,33 (21,37)	1,93 B (32,07)
<i>E. deanei</i>	0,22 (84,63)	11,27 (15,15)	4,96 B (14,76)	15,86 (12,53)	2,27 AB (17,64)
<i>E. dorrigoensis</i>	0,35 (52,80)	13,94 (26,31)	5,51 AB (33,98)	18,93 (23,91)	2,53 A (37,64)
<i>E. dunnii</i>	0,40 (141,86)	11,95 (16,19)	5,22 AB (25,46)	16,88 (14,94)	2,29 AB (19,65)
<i>E. smithii</i>	0,29 (60,67)	12,15 (15,64)	6,51 A (13,77)	18,10 (12,93)	1,87 B (12,62)
p	0,471 ^{ns}	0,070 ^{ns}	0,002*	0,145 ^{ns}	0,004*

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$); valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras. * Significativo a 5% de significância ($p < .05$), ^{ns} não significativo ($p \geq .05$).

LEGENDA: β_{long} = contração longitudinal; β_{tang} = contração tangencial; β_{rad} = contração radial; β_{vol} = contração volumétrica; e A_c = fator anisotrópico.

Os resultados obtidos para a contração tangencial (Tabela 9) foram muito semelhantes entre as espécies e assim como para a contração longitudinal, não foram observadas diferenças significativas. Entretanto, os coeficientes de variação para a contração tangencial, em relação aos de contração longitudinal, foram consideravelmente inferiores. Já para a contração radial (Tabela 9), significativamente os maiores valores foram observados para o *E. smithii* e *E. benthamii*, e o menor para o *E. deanei*, observando que no geral os coeficientes de variação foram um pouco mais elevados do que aqueles observados para a contração tangencial. Para a maioria das espécies estudadas verifica-se que os coeficientes de variação obtidos são maiores do que a média mencionada pelo FPL (1987), que sugere que os valores dos coeficientes de variação das contrações volumétricas e transversais se aproximam de 15%. Todavia, por se tratar do gênero *Eucalyptus*, os resultados verificados no presente estudo são considerados normais (OLIVEIRA et al., 2010).

No que diz respeito à contração volumétrica, todas as espécies exibiram valores elevados, mas igualmente às contrações longitudinal e tangencial, não foram observadas

diferenças significativas entre as espécies. Porém, do ponto de vista numérico, verifica-se que as espécies acompanharam a tendência apresentada pela contração radial, observando-se as maiores contrações volumétricas para o *E. dorrigoensis*, *E. benthamii* e *E. smithii*, e as menores para o *E. deanei* e *E. dunnii*. O mesmo, também pode ser observado com relação à contração tangencial (Tabela 9).

Embora alguns autores, como Spear e Walker (2006), costumem relacionar as contrações lineares (tangencial e radial) e volumétrica com a massa específica básica, sugerindo que quanto maior for essa propriedade, maior será a variação dimensional da madeira, o mesmo não foi observado no presente estudo. Neste contexto, Poubel et al. (2011) afirmam que a contração da madeira ainda é afetada pelo ângulo das microfibrilas, em especial da camada S2. Além disso, os mesmos autores afirmam que ainda há controvérsias entre as relações existentes entre a massa específica básica e a contração da madeira.

Com relação ao coeficiente de anisotropia de contração (Tabela 9), verifica-se que os resultados obtidos diferiram significativamente entre as espécies, constatando-se que os maiores valores foram apresentados pelas madeiras de *E. dorrigoensis*, *E. dunnii* e *E. deanei*, ao passo que os menores valores foram registrados para o *E. smithii* e *E. benthamii*. Considerando os resultados obtidos no teste de médias para as contrações lineares, verifica-se que essa diferença do coeficiente de anisotropia de contração entre as espécies foi provocada principalmente pela contração radial apresentada pelas espécies avaliadas.

De tal modo, considerando que o coeficiente de anisotropia de contração é uma das características que indicam o nível de instabilidade dimensional da madeira, principalmente quando associada a alta contração volumétrica (acima de 11%) e analisando a classificação proposta por Klitzke (2007), verificou-se que as madeiras de *E. benthamii* e *E. smithii* podem ser consideradas estáveis, enquanto as madeiras de *E. deanei* e *E. dunnii* como instáveis. Já a madeira de *E. dorrigoensis* pode ser considerada como de alta instabilidade dimensional, indicando uma forte probabilidade de sofrer empenamentos e rachaduras.

Os resultados aqui observados para a contração longitudinal (de 0,22 – 0,40%), tangencial (de 11,27 – 13,94%), radial (de 4,96 – 6,51%) e volumétrica (de 15,86 – 18,93%) (Tabela 9) em comparação aos valores encontrados na literatura exibiram uma certa normalidade, se aproximando dos observados para o gênero *Eucalyptus*. Lopes et al. (2011), para *E. grandis*, *E. dunnii* e *E. urophylla* de 18 anos, observaram valores de contração tangencial de 8,40 a 14,08%, radial de 4,83 a 7,58% e volumétrica de 14,10 a 21,30%.

Sobre os valores obtidos para os coeficientes de anisotropia de contração (de 1,87 – 2,73), principalmente para *E. dorrigoensis*, *E. dunnii* e *E. deanei*, verifica-se que estes são

consideravelmente superiores aos obtidos por outros autores ao estudarem o mesmo gênero. Oliveira et al. (2010), para sete espécies de eucalipto obtiveram resultados entre 1,40 e 2,20 e Dias Júnior et al. (2013), para diferentes espécies e híbridos de *Eucalyptus* aos 20 anos, observaram fatores de anisotropia variando entre 1,43 e 1,69. Enquanto Benin et al. (2017), para o *E. benthamii*, de 6 anos, verificaram o valor médio de 2,45.

No entanto, ao contrário do afirmado por alguns autores, deve-se ressaltar que o fator de anisotropia tomado de forma isolada não caracteriza a madeira do ponto de vista da estabilidade dimensional (BONDUELLE et al., 2015) e, portanto, não pode ser adotado como o principal critério de determinação desta característica para a madeira das espécies aqui avaliadas. Como exemplo tem-se a madeira de imbuia (*Ocotea porosa*) que, segundo Jankowsky (1990), apesar de apresentar um fator de anisotropia de 2,33, ao mesmo tempo, exibe uma contração volumétrica de 9,8%, comportando-se muito bem quando empregada como matéria-prima para serrarias. Por outro lado, tem-se o exemplo da madeira de *E. grandis* e *E. dunnii*, que ao serem estudadas por Rocha (2000), apresentaram os fatores de anisotropia de 1,35 e 1,55 e contrações volumétricas médias de 16,8 e 19,25%, respectivamente, apresentando uma série de defeitos durante o seu processamento, demonstrando elevada instabilidade dimensional.

4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os resultados obtidos para a resistência à compressão paralela às fibras (Tabela 10) indicaram diferença significativa entre as espécies, constatando-se que os maiores valores foram observados para a madeira de *E. dorrigoensis*, seguida por *E. deanei* e *E. dunnii* e os menores para a madeira de *E. smithii* e *E. benthamii*.

Analisando os valores de resistência à compressão paralela às fibras verifica-se que a madeira de todas as espécies avaliadas pode ser empregada na forma de colunas e treliças, apresentando valores próximos ao observado para espécies de *Eucalyptus* já empregadas na produção de madeira serrada. Moura et al. (2012), para *E. grandis* com idade de 18 anos, observaram a resistência de 54,20 MPa. Gonçalves et al. (2009), ao avaliarem um clone das espécies *E. urophylla* x *E. grandis*, de duas idades (5,8 e 13,8 anos), verificaram que a resistência à compressão paralela às fibras variou entre 49,80 e 67,38 MPa. Enquanto Lima e Garcia (2010), para *E. grandis* aos 21 anos de idade, observaram para a resistência valores entre 35,23 e 61,09 MPa.

TABELA 10 – VALORES MÉDIOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA A 12 % DE UMIDADE DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Espécie	f_{c0} (MPa)	f_M (MPa)	E_{M0} (MPa)	f_v (MPa)	f_{H0} (N)	$f_{HRadial}$ (N)	$f_{HTangencial}$ (N)
<i>E. benthamii</i>	32,14 B (48,38)	110,77 AB (20,40)	12852,10 A (14,44)	14,91 B (13,53)	8802,71 (18,27)	8161,80 A (20,74)	7069,23 AB (25,77)
<i>E. deanei</i>	45,31 B (27,04)	102,87 AB (11,97)	12521,53 AB (13,86)	14,77 B (13,93)	6960,17 (13,69)	5687,72 B (22,07)	5620,76 B (18,78)
<i>E. dorrigoensis</i>	56,66 A (18,37)	88,67 B (22,30)	10273,55 B (13,42)	13,43 B (16,14)	7765,46 (15,64)	6918,45 AB (20,48)	6102,42 AB (15,57)
<i>E. dunnii</i>	42,22 B (38,92)	100,91 AB (17,87)	12060,39 AB (24,33)	14,81 B (10,65)	7377,48 (18,97)	6894,23 AB (15,28)	6146,55 AB (11,78)
<i>E. smithii</i>	38,34 B (47,57)	117,72 A (14,06)	13616,90 A (12,65)	18,52 A (15,05)	8359,78 (27,58)	8156,15 A (31,68)	7845,72 A (32,82)
p	0,002*	0,007*	0,004*	8,319 ^{e-05} *	0,159 ^{ns}	0,011*	0,026*

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$); valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras. *Significativo a 5% de significância ($p < .05$), ^{ns} não significativo ($p \geq .05$).

LEGENDA: f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras; f_M = resistência à flexão estática; E_{M0} = módulo de elasticidade obtido no ensaio de flexão estática; f_v = resistência ao cisalhamento tangencial; f_{H0} = dureza da madeira na direção paralela às fibras; $f_{HRadial}$ = dureza da madeira na direção radial; $f_{HTangencial}$ = dureza da madeira na direção tangencial.

Sobre os resultados obtidos para a flexão estática, tanto para a resistência, quanto para o módulo de elasticidade (MOE) (Tabela 10), ambos apresentaram comportamento semelhante, indicando que a madeira das espécies estudadas pode ser utilizada na forma de peças fletidas, como vigas, verificando-se diferença significativa entre as espécies, de modo que os maiores valores foram obtidos para *E. smithii* e *E. benthamii*, seguidos por *E. deanei* e *E. dunnii*, e os menores por *E. dorrigoensis*.

Os valores aqui observados para flexão estática se aproximam dos obtidos por Moura et al. (2012), para *E. grandis*, aos 18 anos de idade, que observaram valores de 64 MPa para a resistência e 13587 MPa para o MOE. Porém, são superiores aos verificados por Haselein et al. (2002), que para *E. saligna* com idade de 10 anos, observaram a resistência de 72,15 MPa e o MOE de 9267,28 MPa. Por outro lado, Caixeta et al. (2003), na avaliação de 44 genótipos de híbridos de *Eucalyptus* com idades variando de 13 a 17 anos, observaram valores médios superiores aos obtidos neste estudo, que foram de 121,01 e 18813,37 MPa, para a resistência e MOE, respectivamente.

Em relação aos resultados do ensaio de cisalhamento tangencial (Tabela 10), significativamente a maior resistência foi observada para *E. smithii*, que foi a única espécie a diferir das demais. Todavia, os resultados de resistência ao cisalhamento observados para todas as espécies indicam que estas podem ser empregadas na construção civil na forma de

peças engastadas, como na composição de tesouras para cobertura. Além disso, se aproximam dos valores de resistência ao cisalhamento encontrados na literatura para o gênero *Eucalyptus*, sendo superiores em algumas situações. Sousa Júnior (2004), por exemplo, para a madeira de *E. urophylla*, de 15 e 25 anos, observou valores entre 13 e 14,40 MPa, e para a madeira de *E. cloeziana*, de mesma idade, observou valores entre 16,30 e 16,80 MPa. Enquanto Lobão et al. (2004), observaram o valor de 10,20 MPa para *E. grandis* e Moura et al. (2012), para a mesma espécie, observaram o valor de 12,70 MPa.

Quanto aos resultados obtidos para a dureza Janka (Tabela 10), os mesmos apresentaram diferenças significativas entre as espécies apenas nas direções radial e tangencial, verificando-se as maiores resistências para a madeira de *E. smithii* e *E. benthamii* e as menores para a madeira de *E. deanei*.

Os resultados obtidos para a dureza da madeira (Tabela 10), são comparáveis aos verificados por Lima et al. (2004), que ao avaliarem quatro clones de *E. grandis* e um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* com idades entre 8,5 e 15 anos, observaram valores entre 5420 e 7267 N. Entretanto, foram superiores aos obtidos por Müller et al. (2014), que para a madeira juvenil de *E. benthamii*, observaram a dureza longitudinal de 5632,94 N, radial de 5137,70 N e tangencial de 4137,43 N.

Os valores verificados para a dureza, neste estudo, podem ser considerados de moderados a elevados (Tabela 10), podendo-se, inclusive, recomendar as espécies avaliadas para uso na fabricação de pisos, uma vez que os resultados obtidos se aproximam daqueles descritos por Andrade (2015b), para a madeira de espécies nativas já utilizadas com esse objetivo, como tauari (*Couratari oblongifolia*) (f_H Paralela = 5776,11 N; f_H Perpendicular = 4599,32 N), muiracatiara (*Astronium lecointei*) (f_H Paralela = 7688,41 N; f_H Perpendicular = 8659,27 N), e tatajuba (*Bagassa guianensis*) (f_H Paralela = 9875,30 N; f_H Perpendicular = 7384,41 N).

Assim, com base nas propriedades mecânicas observadas e ponderando a recomendação de usos de algumas espécies nativas pelo IPT (2013), a madeira de *E. dorrigoensis* pode ser comparada a madeira de angelim-pedra (*Hymenolobium petraeum*) (fc_0 = 52,30 MPa; f_M = 109,30 MPa; EM_0 = 11572 MPa; f_v = 12,3 MPa; f_H Paralela = 7659 N; f_H Perpendicular = 5786 N), podendo ser recomendada para utilização na construção civil pesada interna (na forma de vigas e caibros), leve interna e externa, e na produção de móveis. Já as madeiras do *E. benthamii*, *E. deanei*, *E. dunnii* e *E. smithii*, são comparáveis a madeira do cedrorana (*Cedrelinga cateniformis*) (fc_0 = 46,60 MPa; f_M = 77,80 MPa; EM_0 = 12847 MPa; f_v = 7,20 MPa; f_H Paralela = 3962 N; f_H Perpendicular = 3785 N) e tauari (*Couratari oblongifolia*) (fc_0 = 46,80 MPa; f_M = 88,80 MPa; EM_0 = 10591 MPa; f_v = 8,5 MPa; f_H Paralela = 5315 N),

podendo ser recomendadas para a utilização na construção civil leve interna, na forma de esquadrias e partes secundárias de estruturas.

Diante do exposto e considerando que o mercado já vem utilizando com sucesso a madeira do gênero *Eucalyptus* para uso estrutural, verifica-se que a madeira das espécies aqui avaliadas exibiram bons resultados no que se refere a resistência mecânica, apresentando potencial para emprego em estruturas, desde que adotadas práticas adequadas no seu desdobro e secagem.

4.3 QUALIDADE DE TORAS

4.3.1 Conicidade

Os resultados da análise de variância revelaram que apenas o fator espécie exerceu efeito significativo sobre a conicidade (Tabela 11), não sendo verificado o efeito da classe diamétrica e da interação dos fatores considerados.

TABELA 11 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE CONICIDADE DE TORAS DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Fontes de Variação	Valores de p
Espécie	0,000 *
Classe diamétrica	0,052 ^{ns}
Espécie x Classe diamétrica	0,078 ^{ns}

FONTE: O autor (2018).

NOTA: * Significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$), ^{ns} não significativo ($p \geq .05$).

O efeito não significativo observado para a classe diamétrica sobre a conicidade, pode estar relacionado com o processo de seleção das toras adotados neste trabalho, uma vez que as toras utilizadas, independentemente da espécie e da classe diamétrica, foram, em sua maioria, retiradas de alturas semelhantes, na porção mediana do fuste, evitando-se o uso de toras provenientes da porção basal e do ápice das árvores que reconhecidamente apresentam conicidade mais acentuada. Neste sentido, Husch et al. (1982) comparam as porções do tronco da árvore a sólidos de revolução que, frequentemente, variam de neilóide para parabolóide, seguido de cone no sentido base-topo.

Resultados semelhantes foram obtidos por Gonçalves et al. (2010), que ao estudarem os parâmetros dendrométricos de um híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis*, verificaram que as toras da base das árvores, em comparação as toras obtidas em alturas superiores, apresentaram

maior conicidade. Ainda, deve-se considerar que, além da classe diamétrica, existem outros fatores que também exercem influência sobre a conicidade, entre eles, espécie, idade, condições climáticas, tratos culturais e silviculturais (BURGUER; RICHTER, 1991).

Quando considerados os valores médios de conicidade obtidos para cada tratamento e o resultado do teste de médias (Tabela 12), observa-se que o efeito da espécie só foi significativo para a classe 3 (> 30 cm) e para a média geral por espécie, verificando-se as maiores conicidades para *E. deanei*. Esse resultado, provavelmente está relacionado com as características genéticas de *E. deanei*, já que a idade, local de coleta, técnicas de implantação e manejo silvicultural de todas as espécies avaliadas foram idênticos.

TABELA 12 – VALORES MÉDIOS DE CONICIDADE DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Espécie	Conicidade (cm/m)			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Média
<i>E. benthamii</i>	0,44 A (57,75)	0,44 A (97,20)	0,69 B (23,92)	0,52 B (58,41)
<i>E. deanei</i>	1,05 A (35,04)	0,81 A (38,976)	1,69 A (34,30)	1,18 A (47,28)
<i>E. dorrigoensis</i>	0,57 A (68,51)	0,46 A (126,97)	0,66 B (54,89)	0,56 B (76,30)
<i>E. dunnii</i>	0,56 A (38,21)	0,85 A (45,77)	1,07 AB (46,33)	0,83 AB (50,22)
<i>E. smithii</i>	1,10 A (40,85)	0,92 A (58,81)	0,69 B (27,80)	0,90 AB (47,12)

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$); valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Os valores de conicidade observados para as espécies avaliadas (Tabela 12) estão dentro dos limites observados para outras espécies do mesmo gênero. Carvalho (2016), ao estudar toras de *E. grandis* e *E. saligna*, com comprimentos variando entre 3,10 e 5,20 m, sem mencionar a idade, observou uma conicidade média de 1,10 cm/m. Enquanto Oliveira et al. (1999), avaliando sete espécies de eucaliptos (*C. citriodora*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus pilularis*, *Eucalyptus cloeziana*, *E. urophylla* e *E. grandis*) com idade média de 16 anos, considerando toras com 4 m de comprimento, verificaram conicidades variando entre 0,45 e 2,17 cm/m.

No geral, os tratamentos aqui avaliados apresentaram valores de conicidade muito positivos (até 1,69 cm/m) (Tabela 12), considerados de baixos a normais em relação à outras espécies de *Eucalyptus*, o que pode estar relacionado à menor juvenilidade das árvores selecionadas. Ao mesmo tempo, estes valores se encontram dentro dos limites estabelecidos pela Norma para Classificação de Toras de Madeira de Folhosas (IBDF, 1984), que determina

conicidades inferiores a 3 cm/m para toras de boa qualidade, o que pode ser considerado como excelente aspecto no que diz respeito à utilização dessas espécies na produção de serrados, especialmente quando ponderado o rendimento em madeira serrada.

4.3.2 Índice de rachadura de topo das toras

Em relação à análise de variância para o índice de rachadura de topo das toras (Tabela 13), os resultados obtidos indicaram que nenhum dos fatores avaliados exerceram efeito significativo sobre essa característica, sugerindo certa homogeneidade do material selecionado.

TABELA 13 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE ÍNDICE DE RACHADURA DE TOPO DE TORAS DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Fontes de Variação	Valores de p
Espécie	0,677 ^{ns}
Classe diamétrica	0,648 ^{ns}
Espécie x Classe diamétrica	0,441 ^{ns}

FONTE: O autor (2018).

NOTA: ^{ns} não significativo ($p \geq .05$).

Por não se observar efeitos significativos da espécie e da classe diamétrica de toras sobre o índice de rachadura de topo (Tabela 13), os resultados médios obtidos para esta característica para os diferentes tratamentos avaliados dispensaram a realização do teste de médias. Contudo, uma vez que explicam parcialmente os resultados obtidos para o a qualidade e o rendimento em madeira serrada, os valores médios obtidos para o índice de rachaduras são apresentados na tabela 14.

TABELA 14 – VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE RACHADURA DE TOPO DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Espécie	Índice de rachadura de topo (%)			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Média
<i>E. benthamii</i>	0,67 (27,53)	0,97 (74,40)	0,45 (34,33)	0,70 (66,58)
<i>E. deanei</i>	1,00 (129,65)	0,42 (115,92)	0,36 (112,40)	0,59 (139,18)
<i>E. dorrigoensis</i>	0,50 (77,29)	0,78 (53,20)	0,26 (53,64)	0,51 (74,85)
<i>E. dunnii</i>	0,56 (71,69)	0,82 (89,86)	0,79 (137,98)	0,72 (102,94)
<i>E. smithii</i>	0,64 (18,36)	0,75 (60,49)	1,08 (66,71)	0,83 (60,39)

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Embora alguns autores (HILLIS; BROWN, 1978; HORNBURG et al., 2012; CADEMARTORI et al., 2015) considerem as rachaduras de extremidades de toras como um método indireto de avaliação das tensões internas de crescimento, associando a magnitude de manifestação desta característica à classe diamétrica das toras, vale destacar que nem sempre essa relação é verificada. Lima et al. (2007), ao considerarem o efeito da classe diamétrica sobre as rachaduras de topo de toras de *E. grandis*, obtiveram resultados semelhantes aos observados no presente estudo, verificando que a classe diamétrica de toras não influenciou neste parâmetro de qualidade.

Frequentemente, quando se trabalha com a madeira de *Eucalyptus*, verifica-se que as rachaduras de topo de toras são um dos principais defeitos apresentados pelo gênero. Neste sentido, considerando os resultados obtidos por outros autores ao estudarem espécies de *Eucalyptus* utilizadas como matéria-prima para serrarias, adotando a mesma metodologia de avaliação, pode-se observar que as espécies aqui avaliadas demonstraram bons resultados (Tabela 18), apresentando índices de rachaduras de baixa a média intensidade. Trevisan et al. (2013), ao avaliarem toras de *E. grandis*, observaram índices variando entre 0,8 e 2,5%, ao passo que Lima et al. (2007), para a mesma espécie, verificaram valores entre 0,72 e 0,89%.

Os baixos índices de rachaduras aqui observados, provavelmente estão relacionados ao período em que as rachaduras de topo foram mensuradas, que foi de até três dias após a derrubada das árvores, indicando a importância do desdobro logo após a derrubada, visando reduzir a manifestação desse defeito. Neste sentido, Hillis e Brown (1978) afirmam que as rachaduras de topo das toras podem se formar em até uma semana após a derrubada das árvores, podendo ser acentuadas pela exposição das toras ao sol. Além disso, conforme os referidos autores, os baixos índices de rachadura de topo também podem estar relacionados ao baixo teor de umidade inicial da madeira.

4.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA

Quando considerados os resultados da análise de variância (Tabela 15), verifica-se que a espécie apresentou efeito significativo sobre todos os parâmetros de qualidade avaliados, enquanto o efeito da classe diamétrica foi observado para o índice de rachaduras, intensidades de arqueamento e encurvamento. De certo modo, considerando os diferentes resultados obtidos para as espécies avaliadas, sobretudo para a massa específica básica, contração da madeira e rachaduras de topo das toras, que são características frequentemente relacionadas à qualidade de madeira serrada, o efeito significativo do fator espécie sobre essas

características já era esperado. Rocha e Tomaselli (2002), ao avaliarem a qualidade da madeira serrada de duas espécies de eucalipto (*E. grandis* e *E. dunnii*), na condição verde e seca, mas sem considerar o efeito do processo de secagem, também observaram o efeito significativo da espécie, contudo, apenas sobre a intensidade de arqueamento.

TABELA 15 – RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Fontes de variação	Valores de p			
	IR	A	Ev	Ec
Espécie	2,48 ^{e-06*}	5,73 ^{e-08*}	6,24 ^{e-08*}	1,88 ^{e-07*}
Classe diamétrica	0,01*	6,87 ^{e-10*}	< 2,20 ^{e-16*}	0,28 ^{ns}
Condição de umidade	1,75 ^{e-10*}	2,10 ^{e-10*}	0,69 ^{ns}	-----
Espécie x Classe diamétrica	1,45 ^{e-05*}	< 2,20 ^{e-16*}	< 2,20 ^{e-16*}	0,00*
Espécie x Condição de umidade	0,84 ^{ns}	0,01 ^{ns}	9,09 ^{e-06*}	-----
Classe diamétrica x Condição de umidade	0,92 ^{ns}	2,55 ^{e-07*}	2,58 ^{e-06*}	-----
Espécie x Classe diamétrica x Condição de umidade	0,96 ^{ns}	2,30 ^{e-09*}	< 2,20 ^{e-16*}	-----

FONTE: O autor (2018).

NOTA: * Significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$), ^{ns} não significativo ($p \geq .05$).

LEGENDA: IR= índice de rachaduras; A= intensidade de arqueamento; Ev= intensidade de encurvamento e Ec= intensidade de encanoamento.

Quanto ao efeito da condição de umidade, o mesmo não foi considerado para o encanoamento, visto que este defeito não é observado em tábuas na condição úmida, já que tem origem no processo de secagem da madeira, devido à diferença de contração entre as faces tangenciais superior e inferior da tábua. Assim, considerando os demais defeitos, este foi observado de forma significativa nos resultados de índice de rachaduras e intensidade de arqueamento, não interferindo nos resultados de encurvamento.

Sobre a interação espécie x classe diamétrica, a mesma apresentou efeito significativo sobre todos os parâmetros estudados, destacando-se, em conjunto com o fator espécie, como as fontes de variação de maior influência na qualidade da madeira serrada.

Em relação a interação espécie x condição de umidade, seu efeito só foi verificado para o encurvamento. Já as interações classe diamétrica x condição de umidade e espécie x classe diamétrica x condição de umidade, apresentaram efeito significativo sobre o arqueamento e encurvamento, não sendo observado para o índice de rachaduras.

4.4.1 Rachaduras

De acordo com os resultados do teste de médias para o índice de rachaduras (Tabela 16), ainda que a análise de variância tenha apontado o efeito significativo da classe

diamétrica, não foram observadas diferenças para esta variável quando analisados os resultados individuais por espécie, avaliando a mesma condição de umidade, indicando que este efeito somente ocorreu quando considerados resultados obtidos entre espécies e condições de umidade distintas, ou ainda, para a média geral das classes diamétricas.

TABELA 16 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA A RACHADURA, NAS CONDIÇÕES ÚMIDA E SECA, NA MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Condição de umidade	Espécie	Rachaduras							
		Classe 1		Classe 2		Classe 3		Média	
		IR (%)	F (%)	IR (%)	F (%)	IR (%)	F (%)	IR (%)	F (%)
Úmida	<i>E. benthamii</i>	11,91 AB a (78,33)	77,55	13,57 AB a (94,19)	69,12	11,02 AB a (107,82)	71,26	12,09 ABCD (96,35)	72,64
	<i>E. deanei</i>	12,11 AB a (107,73)	74,47	6,36 B a (152,50)	54,69	6,25 B a (146,32)	56,43	7,58 D (138,76)	61,86
	<i>E. dorrigoensis</i>	7,51 AB a (95,43)	69,23	12,54 AB a (82,18)	78,33	6,40 B a (182,62)	49,53	8,34 CD (134,29)	65,70
	<i>E. dunnii</i>	5,15 B a (109,64)	62,00	9,05 B a (97,12)	64,18	9,97 AB a (173,25)	50,98	8,59 CD (152,92)	59,05
	<i>E. smithii</i>	10,29 AB a (72,17)	86,54	13,60 AB a (65,37)	86,36	11,31 AB a (89,00)	74,58	11,73 BCD (79,00)	82,49
Seca	<i>E. benthamii</i>	15,25 AB a (106,27)	77,55	19,18 A a (109,12)	76,47	13,56 AB a (123,93)	72,41	15,84 AB (115,10)	75,48
	<i>E. deanei</i>	19,20 A a (134,75)	74,47	10,92 AB a (183,92)	62,50	10,11 AB a (186,55)	58,42	12,37 ABC (171,19)	64,42
	<i>E. dorrigoensis</i>	9,90 AB a (95,43)	78,85	14,56 AB a (82,18)	85,00	10,11 AB a (182,62)	59,81	11,28 BCD (134,29)	74,55
	<i>E. dunnii</i>	9,94 AB a (153,01)	68,00	13,27 AB a (112,35)	77,61	15,68 A a (164,79)	55,82	13,63 AB (152,782)	67,14
	<i>E. smithii</i>	13,80 AB a (111,68)	86,54	20,29 A a (110,28)	89,39	15,46 A a (126,93)	79,66	16,45 A (119,77)	85,20

FONTE: O autor (2018).

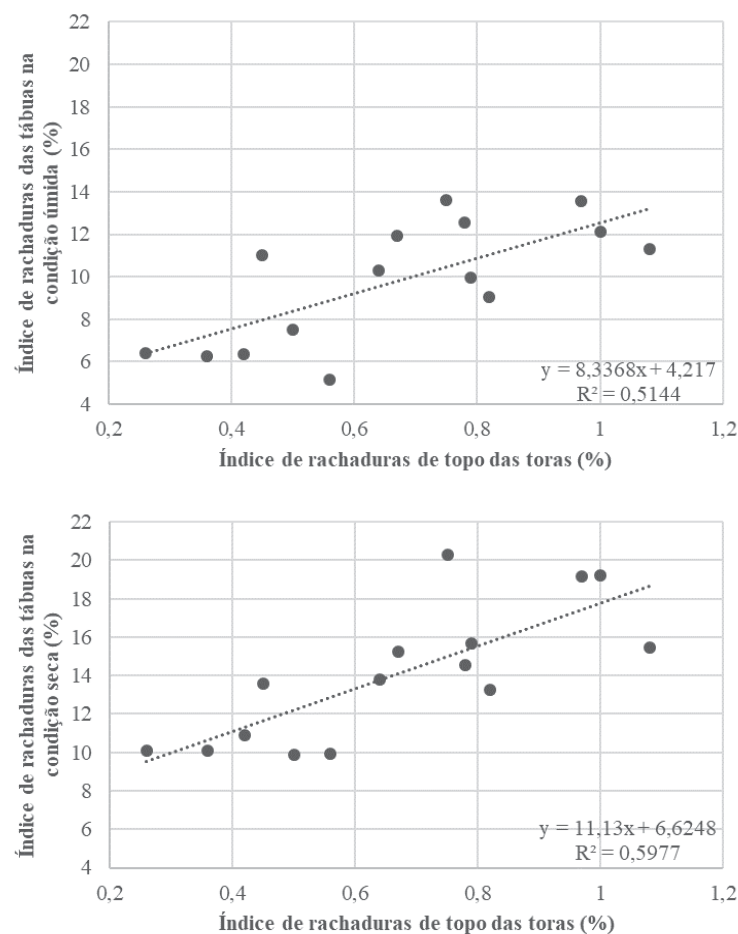
NOTA: Médias de IR seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$); valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

LEGENDA: IR= índice de rachaduras e F= frequência relativa de peças que apresentaram o defeito.

Deste modo, não foi possível a determinação de uma tendência para a classe diamétrica com base no índice de rachaduras. Entretanto, destacam-se os resultados da classe 2 (de 25,1 a 30 cm), que para *E. dorrigoensis*, *E. benthamii* e *E. smithii*, principalmente na condição seca, apresentaram numericamente as maiores intensidades deste defeito em comparação às demais classes. Conforme análise de regressão (Figura 14), tanto para a

condição úmida, como para a condição seca, especialmente no caso desses tratamentos, os resultados obtidos decorrem do maior índice de rachaduras de topo das toras apresentado pelo material selecionado para compor esta classe. O mesmo pode ser observado para a madeira de *E. deanei*, que exibiu os maiores índices de rachaduras na classe 1 (de 20,1 a 25 cm), tanto antes, como após a secagem, que foi justamente a classe a apresentar o maior índice de rachaduras de topo para essa espécie.

FIGURA 14 - REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS VALORES DE ÍNDICE DE RACHADURAS DA MADEIRA SERRADA E O ÍNDICE DE RACHADURA DE TOPO DAS TORAS DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigensis*, *Eucalyptus dunnii* E *Eucalyptus smithii*



FONTE: O autor (2018).

Para a relação da classe diamétrica com a frequência relativa de peças que apresentaram rachaduras (Tabela 16), verificou-se para a maioria das espécies a disposição de redução do percentual de peças que apresentaram o defeito com a elevação da classe diamétrica. Esse comportamento, provavelmente, está relacionado com as tensões de crescimento, sugerindo que as toras de maior de diâmetro, que foram retiradas da região mais

próxima da base do fuste, apresentavam menores níveis de tensão. Resultados semelhantes foram observados por outros autores (CHAFE, 1981; MIRANDA; NAHUZ, 1999), que ao estudarem o *Eucalyptus* observaram a elevação das tensões de crescimento ao longo da altura da árvore (base-topo). Considerando também o processo de coleta do material, outro aspecto que pode ter contribuído para esse resultado é a composição da madeira, sugerindo que as toras de maior diâmetro apresentavam maior proporção de lenho adulto e por consequência, maior estabilidade dimensional em relação as toras das outras classes. Resultados análogos foram observados por Wilson (1985), que ao estudar *Eucalyptus macarthurii* e *Eucalyptus elata*, relacionou a elevação das rachaduras de topo das toras à maior proporção de madeira juvenil.

Em relação ao efeito do processo de secagem (condição de umidade), ainda que se observe a elevação dos índices de rachaduras para todos os tratamentos avaliados, o mesmo só foi significativo para as médias gerais obtidas para o *E. deanei*, *E. dunnii* e *E. smithii*. Assim, proporcionalmente, as maiores elevações da intensidade deste defeito durante o processo de secagem foram apresentadas pela madeira de *E. deanei* (63,19%) e *E. dunnii* (58,67%), que foram provocadas, principalmente, pelo efeito da instabilidade dimensional da madeira. Contudo, no caso dos resultados obtidos para o *E. dorrigoensis*, estes podem ter sido provocados pelo efeito combinado da instabilidade dimensional da madeira associada à grã irregular e aos gradientes de umidade. Isso porque, o *E. dorrigoensis*, embora tenha apresentado a maior contração volumétrica e o maior fator de anisotropia (Tabela 9) dentre as espécies avaliadas, estatisticamente não apresentou o aumento do índice de rachaduras após o processo de secagem.

Rocha e Trugilho (2006), ao avaliarem os defeitos da madeira serrada de *E. dunnii*, verificaram o aumento de 37% no valor do índice das rachaduras após o processo de secagem natural e concluíram que este defeito foi influenciado, não só pelas tensões de crescimento, como também pelas tensões de secagem. Todavia, Eleotério et al. (2014), utilizando a secagem artificial, ao avaliarem a madeira serrada de *Corymbia torelliana*, *E. cloeziana*, *E. grandis*, *E. grandis* x *E. urophylla*, *E. pilularis* e *Eucalyptus resinifera*, obtidas através de desdobro tangencial e Souza et al. (2012), utilizando a secagem natural e artificial, ao avaliarem a madeira serrada de *E. grandis*, também obtidas através de desdobro tangencial, analisando os índices de rachaduras médios, não observaram diferença significativa entre condições de umidade distintas.

Assim, conforme o esperado, tanto em função da tensão de crescimento residual e tensão de secagem, como pelos efeitos da contração da madeira, e acompanhando o índice de rachaduras, após o processo de secagem também foi registrada a elevação da frequência relativa de peças que apresentaram esse defeito. Verificou-se que as espécies que apresentaram as maiores elevações no percentual de peças com rachaduras foram *E. dorrigoensis* (13,47%) e *E. dunnii* (13,70%).

Quanto ao fator espécie, na condição úmida, não foram observadas diferenças significativas entre os índices de rachaduras. Contudo, deve-se destacar os índices elevados observados para o *E. deanei* na classe 1 (de 20,1 a 25 cm) e para *E. dorrigoensis* na classe 2 (de 25,1 a 30 cm). Já os piores índices, foram observados para *E. benthamii* e *E. smithii*. Em relação a frequência relativa de peças que apresentaram rachaduras, os resultados indicaram uma disposição muito semelhante ao índice desse defeito, observando-se as menores frequência para *E. dunnii* e as maiores para *E. smithii* e *E. benthamii*.

Ainda sobre o fator espécie, na condição seca, significativamente os menores índices de rachaduras foram verificados para *E. deanei*, *E. dorrigoensis* e *E. dunnii* e os piores para *E. smithii* e *E. benthamii*, acompanhando a disposição observada para condição úmida. Enquanto, para a frequência relativa, os menores percentuais foram observados para *E. deanei* e *E. dunnii* e os maiores para *E. smithii* e *E. benthamii*. Sobre os resultados observados para o *E. smithii* e *E. dorrigoensis*, novamente esses podem ser atribuídos às rachaduras de topo das toras, uma vez que as maiores intensidades deste defeito, foram observadas nas toras de *E. smithii*, enquanto as menores, nas toras de *E. dorrigoensis*.

De tal modo, ponderando conjuntamente os resultados obtidos para os índices de rachaduras e a frequência de peças que apresentaram este defeito, verifica-se que a espécie que melhor se comportou com relação à manifestação das rachaduras foi *E. dunnii*, seguida por *E. dorrigoensis*, que apesar de apresentar índices de rachadura, numericamente inferiores ao *E. dunnii*, exibiu um maior número de peças com este defeito.

Sobre os valores verificados para os índices de rachaduras médios das espécies avaliadas, exceto para *E. deanei*, *E. dorrigoensis* e *E. dunnii* após o desdobro, verifica-se que estes são maiores do que o padrão estabelecido pela Norma para a Classificação de Madeira Serrada de Folhosas (IBDF,1983), que determina o limite de até 10% para enquadramento na primeira classe. Contudo, estão de acordo com os valores observados para o gênero *Eucalyptus* por autores que adotaram a mesma metodologia de avaliação e não excluem a possibilidade de utilização dessas espécies como matéria-prima para a produção de madeira serrada. Hornburg et al. (2012), ao estudarem seis espécies de eucalipto na condição úmida,

incluindo espécies já utilizadas para produção de serrados como *E. grandis* e *E. cloeziana*, verificaram índices de rachaduras entre 2,54% e 12,28%. Caixeta et al. (2002), ao avaliarem híbridos de *Eucalyptus* após o processo de secagem, observaram o índice de rachaduras médio na ordem de 16,06%. Já Cademartori et al. (2015), estudando *E. grandis*, verificaram índices de rachaduras após o desdobro variando entre 5,17 e 9,61%, e após a secagem entre 8,26% e 11,31%.

Os percentuais de peças que apresentaram rachaduras também estão de acordo com resultados observados na literatura, sendo inclusive menores. Rocha e Tomaselli (2002), considerando tábuas obtidas no desdobro tangencial, para *E. grandis* e *E. dunnii* observaram ocorrências deste defeito entre 84,22% e 93,68%, após o desdobro, e entre 84,22% e 96,84%, após a secagem.

4.4.2 Arqueamento

Os resultados de intensidade de arqueamento (Tabela 17) indicam que o efeito do diâmetro variou de acordo com a espécie e a condição de umidade. Assim, para a condição úmida foram observadas diferenças significativas entre as classes diamétricas somente para os valores obtidos para as espécies *E. dorrigoensis* e *E. smithii*, verificando-se as maiores intensidades de arqueamento na classe de maior diâmetro. Essa mesma tendência, embora não significativa, também foi apresentada pelas demais espécies, considerando a mesma condição de umidade. Logo, para a condição seca, todas as espécies, exceto *E. dunnii*, apresentaram diferenças significativas entre as classes diamétricas. Contudo, como nessa condição as classes que apresentaram as maiores ou menores intensidades de arqueamento variaram de espécie para espécie, não foi possível a determinação de uma tendência quanto ao diâmetro de toras.

Essas diferenças sobre o efeito do diâmetro das toras nos resultados de intensidade de arqueamento das tábuas, de acordo com Souza et al. (2012), podem estar relacionadas às características de algumas toras selecionadas neste estudo, como o deslocamento de medula. Conforme os autores supracitados, esta característica, durante o desdobro da tora, causa um encurvamento do semibloco, que quando é processado em tábuas, tem o encurvamento convertido em arqueamento. Assim, tábuas provenientes de toras com deslocamento de medula tendem a apresentar maior arqueamento do que as tábuas obtidas a partir de toras sem esta característica.

TABELA 17 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O ARQUEAMENTO, NAS CONDIÇÕES ÚMIDA E SECA, NA MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* E *Eucalyptus smithii*

Condição de umidade	Espécie	Arqueamento							
		Classe 1		Classe 2		Classe 3		Média	
		A (mm/m)	F (%)	A (mm/m)	F (%)	A (mm/m)	F (%)	A (mm/m)	F (%)
Úmida	<i>E. benthamii</i>	1,57 CDE a (138,06)	45,83	0,92 B a (153,94)	32,35	1,75 C a (92,91)	66,67	1,43 D (121,75)	48,28
	<i>E. deanei</i>	0,98 DE a (127,97)	44,68	2,28 AB a (111,94)	82,81	1,94 BC a (74,28)	79,21	1,83 CD (102,20)	68,90
	<i>E. dorrigoensis</i>	0,41 E b (183,13)	26,92	1,38 B ab (76,22)	73,33	2,23 BC a (84,93)	78,50	1,56 D (105,36)	59,58
	<i>E. dunnii</i>	0,88 DE a (168,10)	32,00	1,86 AB a (67,77)	80,60	2,21 BC a (88,38)	69,61	1,80 CD (96,51)	60,74
	<i>E. smithii</i>	2,16 BCD ab (83,27)	65,38	1,01 B b (136,67)	40,91	3,12 AB a (85,21)	79,66	2,32 BC (101,64)	61,98
Seca	<i>E. benthamii</i>	3,31 ABC a (83,72)	75,51	2,22 AB ab (138,58)	41,18	1,68 C b (138,32)	52,69	2,25 BC (122,77)	52,69
	<i>E. deanei</i>	2,09 BCDE ab (109,88)	53,19	1,45 B b (134,86)	39,06	2,95 AB a (98,60)	52,53	2,31 BC (112,48)	52,53
	<i>E. dorrigoensis</i>	3,88 A a (60,81)	82,69	3,21 A ab (75,45)	73,33	1,87 C b (141,70)	65,40	2,72 AB (97,78)	65,40
	<i>E. dunnii</i>	1,06 DE a (170,48)	30,00	1,90 AB a (111,80)	52,24	2,07 BC a (118,58)	45,06	1,80 CD (125,82)	45,06
	<i>E. smithii</i>	3,79 AB a (83,20)	69,23	0,75 B b (314,99)	10,61	4,04 A a (104,79)	46,10	3,06 A (125,19)	46,10

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Médias de A seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$); valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

LEGENDA: A= intensidade de arqueamento e F= frequência de peças que apresentaram o defeito.

Quanto ao efeito do diâmetro sobre os percentuais de peças que apresentaram arqueamento (Tabela 17), na condição úmida, os resultados obtidos acompanharam a tendência verificada para a intensidade do defeito, verificando-se, no geral, os maiores percentuais nas classes 2 (de 25,1 a 30 cm) e 3 (> 30 cm). No entanto, após o processo de secagem, com exceção ao *E. dunnii*, os maiores percentuais de peças arqueadas passaram a ser apresentados pela classe 1 (de 20,1 a 25 cm), muito provavelmente, em função do maior percentual de lenho juvenil presente nessas toras, já que no geral estas foram retiradas de alturas mais elevadas do fuste. Segundo Jankowsky (1979), peças retiradas de árvores adultas e que contenham parte do lenho juvenil, devido as diferenças na massa específica básica, na contração volumétrica e no teor de umidade existentes entre a madeira juvenil e a madeira adulta, tendem a apresentar empenamentos.

Do mesmo modo ao observado para o efeito do diâmetro, o efeito da secagem sobre a intensidade de arqueamento também variou entre os tratamentos. Porém, quando consideradas as médias gerais obtidas por espécie, verifica-se que após o processo de secagem as intensidades de arqueamento aumentaram significativamente para *E. dorrigioensis* (74,36% ou 1,16 mm/m), *E. benthamii* (57,34% ou 0,82 mm/m) e *E. smithii* (31,90% ou 0,74 mm/m). Para *E. deanei*, embora de forma não significativa, também foi observada a elevação da intensidade média do defeito (26,23% ou 0,48 mm/m), enquanto para *E. dunnii* não foram notadas variações.

Essa disposição para a intensidade de arqueamento verificada para a maioria das espécies, após o processo de secagem, está de acordo com resultados encontrados por Cademartori et al. (2015), e assim como observado para o índice de rachaduras, indica que além das tensões de crescimento, o arqueamento também está relacionado às tensões de secagem. Neste sentido, Stangerlin et al. (2009) destacam que na secagem da madeira o arqueamento apresenta-se como um dos defeitos de difícil controle, o que decorre da organização das tábuas nas pilhas, que por não apresentarem nenhuma restrição lateral, não impedem as deformações das tábuas.

Contudo, ao se considerar o efeito da condição de umidade sobre a frequência de peças que apresentaram o arqueamento, verifica-se uma tendência um pouco distinta à observada para a intensidade do mesmo, já que, no geral, as classes 2 (de 25,1 a 30 cm) e 3 (>30 cm), após a secagem, apresentaram redução do percentual de peças com este defeito. O que também ocorreu para a frequência média observada por espécie, nos casos do *E. deanei* (23,76 %), *E. dunnii* (25,81%) e *E. smithii* (25,62%).

De certa forma, estes resultados indicam que o empilhamento da madeira realizado para a condução do processo de secagem, apesar de não restringir a elevação da intensidade média do arqueamento, foi suficiente para reduzir o número de peças que apresentaram o defeito, o que, possivelmente, decorre da estrutura utilizada para a instalação da cobertura das pilhas de secagem, uma vez que esta foi fixada lateralmente às pilhas, restringindo parcialmente as deformações transversais nas tábuas. Resultados semelhantes forma obtidos por Rosso (2006), que avaliando diferentes condições de secagem, observou que a madeira de *E. grandis*, após o processo de secagem natural conduzido no inverno, apesar de apresentar elevação da intensidade de arqueamento, apresentou também, a redução do percentual de peças com este defeito.

Sobre a influência das espécies nos resultados de intensidade de arqueamento, aquelas a se destacarem com os maiores e menores valores, também variaram de classe para

classe e condição de umidade. Todavia, considerando os resultados médios obtidos por espécie, observa-se que significativamente, na condição úmida, as maiores intensidades de arqueamento foram apresentadas para *E. smithii* e as menores para *E. benthamii* e *E. dorrigoensis*, enquanto para a condição seca, as maiores intensidades de arqueamento foram apresentadas novamente pelo *E. smithii*, e as menores para o *E. dunnii*, seguido por *E. benthamii* e *E. deanei*. Provavelmente, estes resultados estão relacionados às rachaduras das tábuas, principalmente no caso de *E. smithii*, que numericamente, foi uma das espécies a apresentar os maiores índices e frequência de rachaduras.

Neste contexto, Vázquez (2001), ao descrever o conjunto de forças que se manifestam na liberação das tensões de crescimento durante o desdobro das toras, ressalta que o arqueamento das tábuas está relacionado com as rachaduras, uma vez que a formação dos dois defeitos decorre dos esforços de tensão perpendicular que se originam no centro das tábuas. Entretanto, ao se considerar os percentuais de peças por espécie a manifestarem este defeito, verifica-se que estes não seguiram o padrão observado para a sua intensidade, constatando-se as maiores frequências, nas tábuas de *E. deanei* (68,90%) e *E. smithii* (61,98%), após o desdobro, e *E. dorrigoensis* (65,40%), *E. benthamii* (52,69%) e *E. deanei* (52,53%), após a secagem; e as menores frequências nas tábuas de *E. benthamii* (48,28%), após o desdobro, e de *E. dunnii* (45,06%) e *E. smithii* (46,10%), após a secagem.

Assim, analisando de forma conjunta os resultados obtidos para a intensidade e a frequência de peças com arqueamento verifica-se que todas as espécies apresentaram bons resultados, com destaque para *E. dunnii* como a espécie a apresentar o melhor desempenho. Já, quando consideradas as intensidades de arqueamento médias obtidas para todos os tratamentos, nota-se que os valores apresentados por todas as espécies estão dentro dos limites estabelecidos pela norma NBR 14806 (ABNT, 2002), que determina como intensidade máxima de arqueamento para a madeira serrada de eucalipto o valor de até 5 mm/m, no caso de tábuas a serem incluídas na primeira classe.

Esses resultados se caracterizam como um bom indicativo da qualidade da madeira serrada das espécies estudadas e se aproximam dos obtidos por outros autores ao estudarem o gênero *Eucalyptus*. Anjos e Fonte (2017b), ao avaliarem a intensidade de arqueamento da madeira úmida de *E. grandis*, *E. dunnii* e *E. saligna*, observaram valores entre 2,13 e 2,69 mm/m. Enquanto Eleotério et al. (2014), ao estudarem a qualidade da madeira serrada de seis espécies de *Eucalyptus*, verificaram intensidades entre 1,80 e 3,80 mm/m após o desdobro, e entre 1,90 e 6,60 mm/m após a secagem.

Por outro lado, ao se considerar os percentuais médios finais de peças com arqueamento, verifica-se que estes são, consideravelmente, superiores aos encontrados por Stangerlin et al. (2009), que para a madeira de *C. citriodora* e *E. saligna*, que no Brasil se caracterizam como as melhores espécies de eucaliptos em termos de qualidade de madeira serrada, verificaram percentuais entre 3,64 e 23,64 %, na condição úmida, e entre 10,91 e 30,91%, na condição seca. Entretanto, se aproximam dos percentuais observados por Santos (2002) para a madeira de *E. grandis*, cujos valores médios verificados foram de 52,5% para as tábuas úmidas e de 74,4% para tábuas secas.

4.4.3 Encurvamento

Para o efeito das classes diamétricas, os resultados do teste de médias para a intensidade de encurvamento (Tabela 18) apontaram diferenças para *E. dorrigoensis*, na condição úmida e *E. benthamii*, *E. dunnii* e *E. smithii*, na condição seca, verificando-se, no geral, as menores intensidades do defeito para a classe de maior diâmetro.

Com relação aos demais tratamentos, numericamente, também foram observadas as menores intensidades de encurvamento na classe 3 (> 30 cm) para as duas condições de umidade. A mesma disposição foi observada com relação ao percentual de peças que apresentaram o defeito (Tabela 18), verificando-se a redução na manifestação do encurvamento com o incremento do diâmetro de toras. Estes resultados se aproximam dos observados por Rocha e Tomaselli (2002), que para *E. grandis* e *E. dunnii*, observaram que as menores intensidades de encurvamento e o percentual de peças com este defeito foram apresentados pela classe de maior diâmetro. Resultados similares, também foram obtidos por Anjos e Fonte (2017b), que embora tenham concluído que a classe diamétrica exerceu pouca influência sobre o encurvamento, verificaram uma tendência de redução da intensidade desse defeito com a elevação da classe diamétrica.

Sobre a decorrência da secagem na intensidade de encurvamento, apesar deste processo normalmente reduzir as intensidades deste defeito (CADEMARTORI et al., 2015), os diferentes tratamentos apresentaram disposições distintas. Assim, foram observadas diferenças significativas apenas para *E. dorrigoensis*, em todas as situações consideradas, apresentando, exceto na classe 3 (> 30 cm), elevação da intensidade de encurvamento após o processo de secagem, e para *E. smithii*, na classe 2 (de 25,1 a 30 cm), exibindo redução da intensidade do encurvamento após esse processo.

TABELA 18 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O ENCURVAMENTO, NAS CONDIÇÕES ÚMIDA E SECA, NA MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Condição de umidade	Espécie	Encurvamento							
		Classe 1		Classe 2		Classe 3		Média	
		Ev (mm/m)	F (%)	Ev (mm/m)	F (%)	Ev (mm/m)	F (%)	Ev (mm/m)	F (%)
Úmida	<i>E. benthamii</i>	3,20 BCD a (55,15)	87,75	2,23 BC a (80,89)	72,06	2,03 AB a (51,79)	85,06	2,37 BCD (66,48)	81,62
	<i>E. deanei</i>	2,50 CD a (86,17)	72,34	2,72 BC a (56,33)	87,50	1,83 AB a (81,94)	70,30	2,25 BCD (76,27)	76,71
	<i>E. dorrigoensis</i>	1,90 D ab (88,22)	73,08	3,25 B a (85,20)	81,67	1,50 B b (93,81)	67,29	2,04 CD (99,42)	74,01
	<i>E. dunnii</i>	3,78 BC a (66,19)	86,00	3,14 B a (65,67)	83,58	2,55 A a (80,96)	70,59	3,01 A (73,62)	80,06
	<i>E. smithii</i>	3,43 BC a (56,79)	88,46	3,09 B a (60,50)	86,36	2,17 AB a (82,06)	74,58	2,69 AB (71,07)	83,13
Seca	<i>E. benthamii</i>	4,26 AB a (53,76)	91,83	2,99 B a (90,15)	72,06	1,49 BC b (103,18)	49,42	2,76 AB (89,93)	71,11
	<i>E. deanei</i>	1,71 D a (131,63)	42,55	1,60 CD a (124,66)	45,31	1,76 AB a (119,12)	46,53	1,70 D (123,04)	44,80
	<i>E. dorrigoensis</i>	5,30 A a (39,29)	94,23	4,78 A a (54,35)	83,33	0,45 C b (259,24)	14,95	2,73 AB (108,26)	64,17
	<i>E. dunnii</i>	2,91 BCD ab (89,63)	66,00	3,35 B a (65,51)	83,58	1,99 AB b (90,41)	62,74	2,61 ABC (84,25)	70,78
	<i>E. smithii</i>	4,37 AB a (67,19)	80,77	0,65 D c (217,65)	21,21	2,63 A b (98,01)	58,47	2,44 ABC (111,63)	53,48

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Médias de EV seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$); valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

LEGENDA: Ev= intensidade de encurvamento e F= frequência relativa de peças que apresentaram o referido defeito.

Porém, quando considerados os resultados médios por espécies, verifica-se, que numericamente, a secagem reduziu as intensidades deste defeito nas tábuas de *E. deanei* (24,44% ou 0,55 mm/m), *E. dunnii* (13,29% ou 0,44 mm/m) e *E. smithii* (9,29% ou 0,25 mm/m) e aumentou, nas tábuas de *E. dorrigoensis* (33,83% ou 0,69 mm/m) e de *E. benthamii* (16,45% ou 0,39 mm/m). Resultados semelhantes foram obtidos por Stangerlin et al. (2009), que ao avaliarem o efeito de dois métodos de secagem na qualidade da madeira serrada de três espécies de eucalipto, verificaram que as flechas de encurvamento de todas as espécies estudadas demonstraram uma tendência de redução após a secagem, exceto na secagem em estufa solar de *E. saligna* e na secagem ao ar livre de *C. citriodora*. A mesma tendência, também, foi observada por Eleotério et al. (2014), que ao estudarem o efeito de diferentes

métodos na secagem da madeira de seis espécies de eucalipto, verificaram aumento na intensidade deste defeito somente na madeira de *E. cloeziana* e *E. grandis*, submetidas a secagem a taxas moderadas.

Os resultados aqui obtidos indicam que durante o processo de secagem, o bom empilhamento com o dimensionamento dos tabiques e sua equidistância influenciaram positivamente na redução da intensidade de encurvamento, distribuindo as forças. Porém, a elevação da intensidade de encurvamento observada para *E. benthamii* e *E. dorrigoensis*, sugerem que para a condição seca, além do empilhamento adotado, outras características como a instabilidade dimensional exerceram influência sobre esse defeito. Ainda, a respeito de *E. dorrigoensis*, outra característica que pode ter influenciado nos resultados obtidos foi a grã da madeira, já que esta, diferentemente das outras espécies que apresentaram grã inclinada, foi a única a apresentar grã variando de ondulada a crespa.

Quanto à frequência de peças encurvadas, para a maioria dos tratamentos, os resultados indicaram que após o processo de secagem houve redução do número de peças que apresentaram este defeito, verificando-se as maiores reduções para *E. deanei* (41,60 %) e *E. smithii* (35,67 %). Destacaram-se também os resultados obtidos para a classe 3 (> 30 cm), para a qual, todas as espécies apresentaram redução da frequência do número de peças encurvadas. Provavelmente, os resultados obtidos pela classe 3 (> 30 cm), assim como observados para as rachaduras, decorrem da composição da madeira, sugerindo que esta classe, em comparação às classes 1 (de 20,1 a 25 cm) e 2 (de 25,1 a 30 cm), apresenta maior proporção de lenho adulto e por consequência maior estabilidade dimensional, facilitando a redução do encurvamento durante a secagem. Neste sentido, Simpson (1991), afirma que o encurvamento é ocasionado pela contração longitudinal da madeira de lenho juvenil e pela madeira de tração presentes em árvores de grã inclinada e entrecruzada.

Na comparação entre espécies, aquelas a se destacarem significativamente com as maiores e menores intensidades de encurvamento, variaram entre as classes diamétricas e condições de umidade, indicando que o resultado observado para cada tratamento, foi mais influenciado pela interação dos fatores avaliados, do que pelo efeito isolado do fator espécie.

Analisando os valores médios obtidos por espécie, verifica-se que o encurvamento não foi um defeito relevante para nenhuma das espécies, mesmo assim, constatou-se que, na condição úmida, as menores flechas de encurvamento foram observadas para a madeira de *E. dorrigoensis* e as maiores para a madeira de *E. dunnii* e *E. smithii*. Enquanto que para a condição seca, as menores flechas foram observadas para a madeira de *E. deanei* e as maiores para a madeira de *E. benthamii* e *E. dorrigoensis*. O mesmo também foi observado com

relação ao número de peças que apresentaram o defeito, uma vez que os percentuais de ocorrência acompanharam a tendência da intensidade de encurvamento, destacando as mesmas espécies. Contudo, considerando a combinação dos resultados obtidos para a intensidade e frequência do encurvamento, após a secagem, que é considerada a condição de uso ideal da madeira, verifica-se que as espécies que melhor se comportaram com relação a esse defeito foram *E. deanei* e *E. smithii*, enquanto os piores desempenhos foram apresentados por *E. dunnii* e *E. benthamii*.

As intensidades de encurvamento observadas para todas as espécies, nos diferentes tratamentos avaliados, apresentam valores médios inferiores a 5 mm/m, atendendo os limites estabelecidos pela norma NBR 14806 (ABNT, 2002), para a inclusão da madeira serrada na primeira classe. Além disso, estão de acordo com os valores observados para a madeira de eucalipto. Cademartori et al. (2015), ao avaliarem a madeira de *E. grandis*, observaram intensidade de encurvamento entre 4,52 e 6,17 mm/m, após o desdobro, e entre 4,17 e 5,22 mm/m, após a secagem. Enquanto, Stangerlin et al. (2009), para a madeira de *C. citriodora* e *E. saligna*, que frequentemente destacam-se como as melhores espécies de eucaliptos no que se refere a qualidade de madeira serrada, verificaram valores entre 1,49 e 2,08 após o desdobro e entre 1,50 a 2,03 mm/m após a secagem.

Já os percentuais de peças que apresentaram o defeito foram inferiores aos obtidos por Santos (2002), que para *E. grandis*, verificou a ocorrência de encurvamento na ordem de 93%, para a condição úmida, e 93,6%, para a condição seca. Por outro lado, foram superiores aos observados por Rocha e Tomaselli (2002), que para *E. grandis* e *E. dunnii*, verificaram que o percentual de peças com encurvamento variou entre 23,08 e 72,73%, na condição úmida, e entre 34,88 e 54%, na condição seca.

4.4.4 Encanoamento

Os resultados médios de intensidade de encanoamento (Tabela 19), apontaram diferenças estatísticas entre as classes diamétricas apenas para *E. dorrigensis*, observando-se a redução da intensidade do defeito com o incremento do diâmetro de toras, o que foi provocado pela interação dos fatores espécie e classe diamétrica, já que de acordo com os resultados obtidos na análise de variância, a classe diamétrica, como fator isolado, não exerceu efeito significativo sobre a intensidade do referido defeito.

TABELA 19 – VALORES MÉDIOS OBTIDOS PARA O ENCANOAMENTO NA MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoiensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Condição de umidade	Espécie	Encanoamento							
		Classe 1		Classe 2		Classe 3		Média	
		Ec (mm)	F (%)	Ec (mm)	F (%)	Ec (mm)	F (%)	Ec (mm)	F (%)
Seca	<i>E. benthamii</i>	0,33 B a (305,27)	14,29	0,53 B a (262,04)	16,18	0,72 A a (151,43)	35,63	0,56 BC (210,50)	22,03
	<i>E. deanei</i>	0,80 AB a (185,79)	31,91	0,56 B a (182,24)	29,41	0,73 A a (169,88)	36,63	0,69 AB (178,21)	32,65
	<i>E. dorrigoiensis</i>	1,41 A a (133,78)	40,38	1,34 A a (135,28)	46,67	0,63 A b (176,48)	30,84	1,00 A (155,73)	39,30
	<i>E. dunnii</i>	0,20 B a (264,24)	16,00	0,46 B a (181,72)	29,85	0,25 A a (274,29)	14,71	0,31 C (234,18)	20,19
	<i>E. smithii</i>	0,65 AB a (228,86)	21,15	0,59 AB a (219,57)	27,27	0,55 A a (200,11)	25,42	0,58 BC (213,25)	24,62

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Médias de Ec seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$); valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

LEGENDA: Ec= intensidade de encanoamento e F= frequência relativa de peças que apresentaram o defeito.

Para as demais espécies, exceto *E. benthamii*, verifica-se que, numericamente, as classes 1 (de 20,1 a 25 cm) e 2 (de 25,1 a 30 cm) destacaram-se com as maiores intensidades de encanoamento. Entretanto, ao se avaliar a ocorrência deste defeito (Tabela 19), os maiores percentuais de peças afetadas foram apresentados pelas classes 2 (de 25,1 a 30 cm) e 3 (> 30 cm). Deste modo, ponderando que a formação do encanoamento é resultante da diferença de contração tangencial e radial das tábuas durante o processo de perda de umidade, possivelmente estes resultados decorrem da largura das tábuas, uma vez que as classes 2 (de 25,1 a 30 cm) e 3 (> 30 cm) produziram tábuas mais largas do que as produzidas na classe 1 (de 20,1 a 25 cm).

Sobre o efeito da espécie na intensidade de arqueamento, verificam-se diferenças significativas nas classes 1 (de 20,1 a 25 cm) e 2 (de 25,1 a 30 cm) e na média geral, observando-se, nestas três situações, as maiores intensidades para a madeira de *E. dorrigoiensis* e as menores para a madeira de *E. dunnii* e *E. benthamii*. Resultado semelhante é observado com relação ao percentual de peças que apresentaram o defeito, verificando-se que as maiores ocorrências foram obtidas pelo *E. dorrigoiensis* (39,30%), enquanto as menores pelo *E. dunnii* (20,19%) e *E. benthamii* (22,03%), indicando que essas duas últimas espécies foram as que melhor se comportaram com relação a encurvamento.

Estes resultados observados para o *E. dorrigoensis*, assim como observado em relação ao encurvamento, podem ter sido provocados pelo tipo de grã associada a intabilidade dimensional da madeira, uma vez esta última, de forma isolada, não justifica os resultados obtidos, de modo que não foram observadas correlações entre a intensidade de encanoamento com a contração volumétrica e o coeficiente de anisotropia de contração das espécies avaliadas.

As intensidades de encanoamento obtidas por todas as espécies podem ser consideradas muito pequenas e possivelmente foram provocadas pela combinação de alguns fatores como a maior idade da floresta, associada a tábuas de larguras pequenas e maior percentual de tábuas intermediárias e radiais. Além disso, as intensidades aqui obtidas são menores do que as observadas por outros autores ao estudarem a madeira de *Eucalyptus*, adotando a mesma metodologia de avaliação. Calonego e Severo (2007), por exemplo, para *E. grandis*, observaram valores entre 1,21 e 4,41 mm. Já Rocha e Trugilho (2006), para *E. dunnii*, verificaram uma intensidade de encanoamento média de 2,88 mm.

Quanto aos percentuais de peças encanoadas, a maioria das espécies apresentaram resultados satisfatórios e inferiores aos encontrados na literatura para o mesmo gênero. Severo (2000), ao avaliar três programas para a secagem da madeira de *E. dunnii* verificou que o percentual de peças com encanoamento variou entre 35 e 85%, enquanto Rocha e Tomaselli (2002), para a mesma espécie, após a secagem artificial, observaram um percentual médio de 58,33%.

4.5 RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA

Os resultados da análise de variância foram semelhantes entre os dois rendimentos estudados (Tabela 20), verificando-se o efeito significativo do fator espécie para o rendimento bruto e o líquido e da interação espécie x classe diamétrica apenas para o rendimento líquido.

TABELA 20 - RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS RESULTADOS DE RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Fontes de Variação	Rendimento bruto	Rendimento líquido
Espécie	7,914 ^{e-5*}	7,948 ^{e-08*}
Classe diamétrica	0,708 ^{ns}	0,386 ^{ns}
Espécie x Classe diamétrica	0,108 ^{ns}	0,000*

FONTE: O autor (2018).

NOTA: * Significativo a 5% de probabilidade ($p < .05$), ns não significativo ($p \geq .05$).

Em relação ao efeito da classe diamétrica, esse fator não teve influência significativa sobre os rendimentos avaliados, o que, possivelmente, está relacionado à utilização de modelos de corte específicos adotados para cada uma das classes diamétricas avaliadas, que resultou na otimização do rendimento obtido para todas as espécies estudadas. Manhiça et al. (2012), ao estudarem o desdobro de *Pinus* spp., verificaram que o desdobro programado, no qual foi utilizado um modelo de corte para cada classe diamétrica, em comparação ao desdobro convencional, apresentou redução do efeito do diâmetro de toras sobre o rendimento em madeira serrada.

Esses resultados são comparáveis aos obtidos por Juízo et al. (2014), que ao avaliarem o rendimento em madeira serrada para *E. cloeziana* e *E. saligna*, considerando diferentes fontes de variação, inclusive classe diamétrica, somente verificaram efeito significativo para o fator espécie e modelo de desdobro.

Assim, os resultados do teste de médias para o rendimento bruto (Tabela 21), de acordo com a análise de variância, não exibiram diferenças significativas entre as classes diamétricas, não sendo observada tendência diretamente proporcional entre esse rendimento e o diâmetro de toras.

TABELA 21 – VALORES MÉDIOS DO RENDIMENTO BRUTO EM MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Espécie	Rendimento bruto (%)			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Média
<i>E. benthamii</i>	52,21 A (12,92)	51,48 B (7,73)	48,34 A (8,03)	50,67 B (9,84)
<i>E. deanei</i>	52,27 A (6,48)	55,56 AB (7,56)	55,16 A (6,90)	54,33 AB (7,07)
<i>E. dorrigensis</i>	50,49 A (8,06)	49,64 B (3,95)	55,07 A (14,49)	51,73 B (10,61)
<i>E. dunnii</i>	58,67 A (3,89)	61,35 A (6,51)	55,25 A (7,77)	58,42 A (7,26)
<i>E. smithii</i>	51,84 A (8,69)	52,52 AB (5,93)	54,57 A (5,00)	52,98 B (6,58)

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Média seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$); valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Estes resultados, do ponto de vista estatístico, diferem dos observados por outros autores (ANJOS; FONTE, 2017a; MÜLLER; 2013) que ao avaliarem o efeito da classe diamétrica no rendimento em madeira serrada, frequentemente relacionam a obtenção de maiores rendimentos ao emprego de toras de maior diâmetro. Porém, vale ressaltar, que essa tendência normalmente só é verificada para situações em que o mesmo modelo de corte é

empregado no desdobro de diferentes classes. Neste sentido, os resultados obtidos indicam que as espécies avaliadas podem apresentar rendimentos satisfatórios para as classes diamétricas estudadas, quando utilizados modelos de desdobro adequados para cada uma delas.

Todavia, embora não tenha sido observada diferença significativa, verifica-se que, numericamente, exceto *E. benthamii* que exibiu uma disposição contrária, a maioria das espécies apresentou elevação do rendimento com o incremento da classe diamétrica, o que na prática deve ser considerado, já que tem reflexo financeiro sobre a produção de madeira serrada. Contudo, deve se destacar a superioridade do rendimento obtido para *E. dunnii* na classe 2 (de 25,1 a 30 cm) em comparação à classe 3 (> 30 cm) e até mesmo em relação às demais espécies dentro da mesma classe. Resultado este que está relacionado ao diâmetro médio das toras selecionadas para compor essa classe, que para *E. dunnii* foi menor (26,78 cm) do que o observado para as outras espécies, sugerindo que o modelo de corte selecionado para a classe 2 (de 25,1 a 30 cm) foi mais adequado para toras com diâmetro inferior ao centro da classe. Ainda, esses resultados demonstram que além do diâmetro de toras e o processo de desdobro existem outras variáveis que podem interferir no rendimento em madeira serrada, que no caso do *E. benthamii*, podem estar relacionadas à retinidade de toras, sugerindo que as toras de menor diâmetro, em comparação às de maior, apresentavam menor tortuosidade.

Sobre o fator espécie, para o rendimento bruto, somente para a classe 2 (de 25,1 a 30 cm) e para as médias gerais obtidas por espécie, ocorreram diferenças estatísticas significativas, observando-se os maiores rendimentos para *E. dunnii*, seguido de *E. deanei*, e os menores para *E. smithii*, *E. dorrigensis* e *E. benthamii*.

A superioridade dos rendimentos obtidos para a madeira do *E. dunnii*, em termos absolutos, foi observada em todas as classes diamétricas consideradas. Esses resultados surpreenderam positivamente, principalmente quando considerados os resultados obtidos por outros pesquisadores (ROCHA, 2000; ANJOS; FONTE, 2017a), que ao avaliarem o rendimento de *E. dunnii* e de outras espécies do gênero, verificaram que comparativamente, essa foi a espécie a apresentar os menores rendimentos. Os resultados aqui observados para esta espécie podem estar relacionados à qualidade do material de propagação utilizado para a formação do povoamento onde foram realizadas as coletas, que em comparação ao das demais espécies avaliadas, apresentava um maior grau de seleção genética, principalmente quando considerado o nível de domesticação dessas espécies no Brasil.

Destacam-se ainda, os resultados obtidos para *E. deanei*, que apesar de apresentar a maior conicidade média de toras dentre as espécies estudadas, obteve o segundo maior

aproveitamento. Esses resultados indicam que, para as espécies avaliadas, a conicidade de toras não interferiu no rendimento alcançado, o que decorreu dos baixos níveis de conicidade observados para todas as toras. Além disso, do mesmo modo que o observado para o efeito do diâmetro de toras no rendimento bruto de *E. benthamii*, estes resultados também podem ter sido influenciados pela retilidade das toras, sugerindo que as toras de *E. deanei*, apesar de mais cônicas, eram mais retas.

Contudo, apesar dos maiores rendimentos brutos serem observados para *E. dunnii* e *E. deanei*, verifica-se que as demais espécies também apresentaram bons resultados, aproximando-se dos obtidos por essas duas e enquadrando-se na faixa de valores mencionadas por Blackwell e Walker (2006), que afirmam que, no geral, o rendimento em madeira serrada varia entre 40 e 65%.

Ao mesmo tempo, quando consideradas todas as espécies estudadas, verifica-se que os rendimentos brutos obtidos estão de acordo com os valores encontrados para o gênero na literatura, inclusive, daqueles observados para espécies já recomendadas para a produção de madeira serrada no Brasil, como *E. grandis* e *E. saligna*. Anjos (2013), ao avaliar diferentes clones de *Eucalyptus* após o desdobro, obteve um rendimento médio de 44,49% para *E. grandis* e de 48,29% para *E. saligna*.

Em relação aos resultados obtidos para o rendimento líquido (Tabela 22), assim como o verificado para o rendimento bruto, foram observadas diferenças estatísticas entre as espécies. Entretanto, numericamente, mais uma vez, foram constatadas diferenças consideráveis entre as classes diamétricas, que em sua maioria acompanharam os padrões observados para o rendimento bruto, com exceção a classe 2 (de 25,1 a 30 cm) para *E. dunnii*, que apesar de anteriormente apresentar o maior aproveitamento entre as classes consideradas para espécie apresentou rendimento líquido praticamente igual ao da classe 1. Essa redução do rendimento líquido observada para esse tratamento, está relacionada às rachaduras de topo das toras que embora não tenham apresentado diferença significativa entre as espécies e classes diamétricas avaliadas, no caso do *E. dunnii*, foram mais intensas nas toras da classe 2 (de 25,1 a 30 cm) (Tabela 18).

O efeito das rachaduras de topo das toras também é indicado pela diferença entre o rendimento bruto e líquido observada para *E. deanei* e *E. dorrigoensis*, uma vez que para essas espécies as classes diamétricas que apresentaram as maiores diferenças, classe 1 (de 20,1 a 25 cm) e 2 (de 25,1 a 30 cm), respectivamente, foram as mesmas a apresentarem os maiores índices de rachadura de topo das toras.

TABELA 22 – VALORES MÉDIOS DO RENDIMENTO LÍQUIDO EM MADEIRA SERRADA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

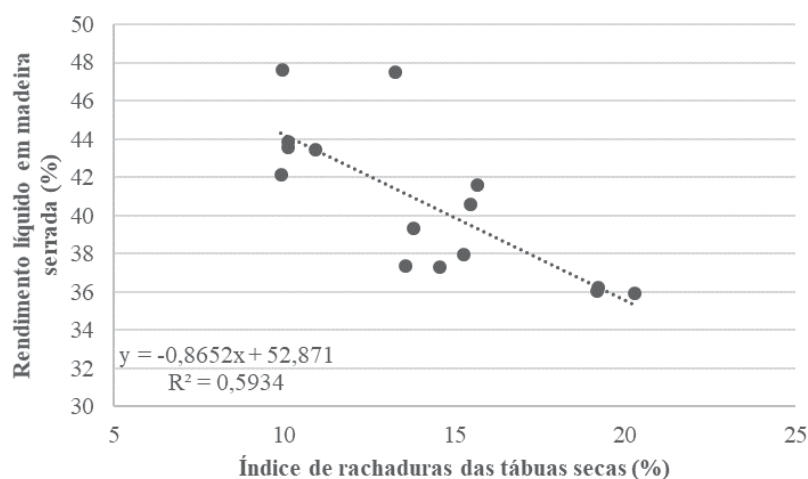
Espécie	Rendimento líquido (%)			Média
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	
<i>E. benthamii</i>	37,93 B (4,62)	36,03 B (12,18)	37,35 A (8,97)	37,10 C (8,63)
<i>E. deanei</i>	36,22 B (9,96)	43,44 AB (6,98)	43,86 A (6,13)	41,17 B (11,28)
<i>E. dorrigoensis</i>	42,12 AB (11,45)	37,31 B (9,72)	43,55 A (7,74)	40,99 B (11,25)
<i>E. dunnii</i>	47,61 A (7,74)	47,50 A (9,04)	41,60 A (3,44)	45,57 A (9,36)
<i>E. smithii</i>	39,33 B (12,17)	35,92 B (4,94)	40,55 A (4,91)	38,60 BC (9,23)

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Média seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$); valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

Além disso, durante a determinação dos rendimentos líquidos verificou-se que em todos os tratamentos avaliados as tábuas apresentavam baixa ocorrência de esmoado e desbitolamento, demonstrando que as diferenças entre os rendimentos bruto e líquido foram provocadas principalmente pela presença de rachaduras nas tábuas, o que foi comprovado pela análise de regressão entre os valores de rendimento líquido em madeira serrada e índice de rachaduras das tábuas secas (Figura 15).

FIGURA 15 - REGRESSÃO LINEAR SIMPLES ENTRE OS VALORES DE RENDIMENTO LÍQUIDO EM MADEIRA SERRADA E ÍNDICE DE RACHADURAS DAS TÁBUAS SECAS DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* E *Eucalyptus smithii*



FONTE: O autor (2018).

Assim, quando analisado o desempenho apresentado pelas espécies, o maior rendimento líquido foi observado para *E. dunnii*, que apesar de exibir perdas provocadas pelas

rachaduras, indicou que a manifestação desse defeito não comprometeu o seu aproveitamento frente aos resultados obtidos pelas demais espécies, tendo uma quebra, em comparação ao rendimento bruto, de 22,00 %.

Já os menores rendimentos líquidos foram observados para *E. benthamii* e *E. smithii*, que de acordo com análise estatística, não diferiram entre si. Esse menor desempenho observado para *E. benthamii* e *E. smithii*, em relação às demais espécies, também foi observado quando ponderadas as diferenças entre os rendimentos bruto e líquido, que foram reduzidos em 26,78 e 27,14 %, respectivamente. Esses resultados, além das rachaduras de topo das toras, estão relacionados à instabilidade dimensional da madeira dessas espécies, que pode ter provocado a elevação das rachaduras das tábuas durante o processo de secagem da madeira. Neste sentido, no que se refere aos resultados observados para *E. benthamii*, Higa e Pereira (2003), ao avaliarem os seus usos potenciais, também concluíram que a sua madeira era dimensionalmente instável, apresentando índices elevados de contração volumétrica e coeficiente de anisotropia de contração, sugerindo a realização de novos estudos, antes de recomendar a espécie para a produção de madeira serrada.

Todavia, os rendimentos líquidos obtidos demonstraram que todas as espécies estudadas apresentaram qualidade e rendimento aceitáveis, indicando que essas espécies podem ser utilizadas para a produção de madeira serrada em regiões de ocorrência de geadas. Além disso, os resultados obtidos para o rendimento líquido estão de acordo com os valores observados para o gênero *Eucalyptus*, sendo até mesmo, em algumas situações, superiores aos valores encontrados por outros autores. Amparado et al. (2008), por exemplo, para o *E. saligna* aos 20 anos de idade, observaram o rendimento líquido médio de 26%, após o desdobro, e de 24%, após a secagem.

4.6 QUALIDADE DE USINAGEM DA MADEIRA

4.6.1 Avanço por dente medido

Os resultados obtidos para o avanço por dente medido para a superfície aplainada das diferentes espécies avaliadas são apresentados na tabela 23. Considerando que o avanço por dente é uma resposta (matemática) às condições de corte da ferramenta frente às madeiras e ponderando que todas as espécies foram submetidas às mesmas condições de usinagem, o resultado esperado era que todas as espécies apresentassem valores médios de avanço por dente similares entre si. Contudo, os resultados da análise de variância e do teste de médias

indicaram diferenças significativas entre as espécies avaliadas (Tabela 23), de forma que o maior valor médio foi observado para *E. benthamii* e o menor valor para *E. deanei*. Possivelmente, essa diferença entre os valores médios decorre das características da madeira, como grã, composição anatômica (largura dos anéis de crescimento, lenho adulto ou juvenil, presença de lenho de reação) e massa específica.

TABELA 23 – VALORES DE AVANÇO POR DENTE MEDIDO APÓS O APLAINAMENTO PARA A MADEIRA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Espécie	Avanço por dente medido (fz medido)		
	Mínimo (mm)	Médio (mm)	Máximo (mm)
<i>E. benthamii</i>	3,46	3,72 A (3,01)	3,91
<i>E. deanei</i>	3,21	3,57 B (4,93)	4,09
<i>E. dorrigoensis</i>	3,10	3,61 AB (4,45)	3,91
<i>E. dunnii</i>	3,21	3,63 AB (5,470)	3,91
<i>E. smithii</i>	3,46	3,69 AB (3,32)	3,91
Valores de p	-----	0,012*	-----

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$); valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras. * Significativo a 5% de significância ($p < 0,05$), ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

Ainda, verifica-se que em termos absolutos, os valores máximos e mínimos observados para essa característica também apresentaram variações entre as espécies estudadas, constatando-se que a menor leitura do avanço por dente foi apresentada pela madeira de *E. dorrigoensis* e a maior pela madeira de *E. deanei*. No entanto, de modo geral, os coeficientes de variação apresentados pelas diferentes espécies foram muito semelhantes.

Em sua maioria, os valores médios de avanço por dente medido para as espécies estudadas são superiores aqueles considerados como desejáveis por Bonduelle (2001), que afirma que o avanço por dente deve estar num intervalo entre 1 e 1,8 mm. Contudo, são inferiores aos valores obtidos por Silva et al. (2016), que ao avaliarem a qualidade de superfície usinada para o *E. dunnii*, *E. urophylla*, *E. grandis*, *C. citriodora* e *C. maculata*, de 37 anos de idade, empregando condições de corte semelhantes as do presente estudo (velocidade de avanço de 15 m.min⁻¹ e velocidade de corte da ferramenta de 18 m.s⁻¹) obtiveram o valor médio de 4,9 mm para o avanço por dente medido.

Deste modo, considerando que os valores de avanço por dente medido estão associados principalmente aos parâmetros de usinagem e analisando o potencial de utilização

dessas espécies pela indústria madeireira, para uma possível redução dessa variável, sugere-se que no aplainamento das espécies avaliadas sejam utilizados parâmetros de cortes diferentes dos usados neste estudo, adotando-se menores velocidades de avanço, como 3, 6, 9 e 12 m.min⁻¹, combinadas a diferentes rotações do eixo porta-ferramentas, como 3.500 e 4.000 min⁻¹, para a obtenção de superfícies de maior qualidade.

4.6.2 Análise visual

Os percentuais obtidos para as diferentes espécies na análise visual da qualidade de superfície aplainada, conforme a norma D1666-11 (ASTM, 2011), são apresentados na tabela 24.

TABELA 24 – PERCENTUAIS DOS CORPOS-DE-PROVA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii* CLASSIFICADOS SEGUNDO A NORMA D1666 – 11 APÓS O APLAINAMENTO

Espécie	Percentual de corpos-de-prova classificados (%)				
	Nota 1	Nota 2	Nota 3	Nota 4	Nota 5
<i>E. benthamii</i>	3,8	0,0	34,6	26,9	34,6
<i>E. deanei</i>	4,2	4,2	20,8	29,2	41,7
<i>E. dorrigoensis</i>	0,0	4,2	20,8	25,0	50,0
<i>E. dunnii</i>	3,8	0,0	26,9	38,5	30,8
<i>E. smithii</i>	4,0	4,0	24,0	16,0	52,0

FONTE: O autor (2018).

Em sua maioria, os percentuais obtidos na classificação dos corpos-de-prova indicaram diferentes níveis de qualidade entre as espécies. Além disso, quando analisados em conjunto com os resultados do avanço por dente medido, verificou-se que quanto maior a nota atribuída, maior foi o avanço por dente medido, sobretudo para os corpos-de-prova classificados com as notas 3, 4 e 5, que apresentaram os valores médios de avanço por dente de 3,61; 3,64 e 3,66 mm, respectivamente. Esse comportamento demonstrou que a qualidade superficial das espécies avaliadas, baseada na presença de defeitos de usinagem, foi determinada principalmente pelos parâmetros de corte adotados nos ensaios.

De tal modo, constatou-se que as espécies avaliadas exibiram baixos índices de qualidade, apresentando baixo percentual de peças classificadas com as notas 1 (excelente), 2 (boa) e 3 (regular), consideradas de qualidade aceitável. Assim, verificou-se que os somatórios dos percentuais de peças classificadas com as notas 1, 2 e 3, foram de 38,4 % para *E. benthamii*, 32,0 % para *E. smithii*, 30,7 % para *E. dunnii*, 29,2 % para *E. deanei* e 25 % para *E. dorrigoensis*.

Quanto às peças que apresentaram padrões insatisfatórios de qualidade, classificadas com as notas 4 e 5, os somatórios dos percentuais foram elevados, sendo de 75; 70,9; 69,3; 68 e 61 % para *E. dorrigoensis*, *E. deanei*, *E. dunnii*, *E. smithii* e *E. benthamii*, respectivamente. Nessas situações, para que a madeira possa ser empregada na produção moveleira ou em outras utilizações que requeiram bom acabamento superficial, é indispensável que a mesma seja submetida à novas operações de aplainamento ou lixamento. Contudo, conforme Silva et al. (2009), em algumas situações, como na produção de peças estruturais internas de divisórias, peças estruturais não aparentes de telhados e cercas ou portões, mesmo que a madeira apresente padrões insatisfatórios de qualidade superficial, esta pode ser utilizada, dispensando as operações mencionadas.

Desta forma, analisando os percentuais apresentados para os diferentes padrões de classificação, verificou-se que a espécie a apresentar a melhor qualidade de superfície aplainada foi *E. benthamii*, seguida por *E. dunnii* e *E. smithii*. Enquanto a pior qualidade foi observada para *E. dorrigoensis*. Essas diferenças observadas entre as espécies podem estar relacionadas à grã da madeira, já que diferentemente das outras espécies aqui avaliadas que possuem grã do tipo inclinada, o *E. dorrigoensis* apresenta grã variando de ondulada a crespada, o que pode ter provocado o maior arrancamento e arrepimento das fibras da madeira. Resultados análogos foram obtidos por Dias Júnior et al. (2013), que ao estudarem a usinagem da madeira de diferentes espécies, atribuíram a baixa qualidade da superfície aplainada à presença de grã irregular.

4.6.3 Sunset laser

Na avaliação da qualidade de superfície usinada da madeira por meio da técnica do *sunset laser* a espécie a apresentar, em termos absolutos, a menor área do defeito foi *E. deanei* com valores variando entre 14,57 e 40,36%. Já a espécie a registrar a maior área do defeito foi *E. dorrigoensis*, para a qual foram verificados valores entre 15,18 e 42,39%. Para as demais espécies avaliadas a área do defeito variou entre 16,27 e 31,40% para *E. benthamii*, entre 15,85 e 23,40% para *E. dunnii* e entre 16,82 e 27,52% para *E. smithii*.

No entanto, quando considerada a área de defeito médio (Tabela 25), a tendência indicada pelos valores absolutos só foi confirmada para *E. dorrigoensis*, que apresentou o maior valor, sugerindo uma menor qualidade. Enquanto a menor média foi observada para *E. dunnii*. Todavia, se analisados os valores médios apresentados pelas demais espécies, verifica-se que todos foram muito semelhantes, tanto que o resultado da análise de variância (Tabela

25) demonstrou que não houve diferença significativa entre as espécies avaliadas, sugerindo que todas as espécies apresentaram padrões similares de qualidade de superfície usinada.

TABELA 25 – ÁREA DO DEFEITO MÉDIA OBTIDA PELO MÉTODO DO *sunset laser* APÓS O APLAINAMENTO PARA A MADEIRA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii*

Espécie	Área do defeito (%)
<i>E. benthamii</i>	21,25 (20,22)
<i>E. deanei</i>	21,36 (25,63)
<i>E. dorrigoensis</i>	21,83 (27,64)
<i>E. dunnii</i>	19,46 (8,37)
<i>E. smithii</i>	19,91 (12,04)
Valores de p	0,214 ^{ns}

FONTE: O autor (2018).

NOTA: Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras. ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$).

Em relação à dispersão dos resultados, diferentemente do observado para os resultados do avanço por dente, houveram variações consideráveis entre as espécies, verificando-se o menor coeficiente de variação para *E. dunnii* e o maior para *E. dorrigoensis* (Tabela 25). Essa disposição diferenciada entre as duas metodologias quanto à dispersão dos resultados, decorre do fato de a técnica do *sunset laser*, do mesmo modo que a análise visual, se basear na presença de defeitos, provocados pela combinação das condições de usinagem e as características inerentes à madeira.

Por esse motivo, esperava-se que o *sunset laser* indicasse maiores diferenças nos níveis de qualidade entre as espécies do que as que foram verificadas. Porém, deve-se destacar, que na análise visual a determinação da qualidade considera toda a superfície do corpo-de-prova, ao passo que a técnica do *sunset laser* avalia a qualidade considerando pontos de amostragem com dimensões de 450 x 450 pixels, distribuídos sistematicamente nas imagens obtidas pelo registro fotográfico dos corpos-de-prova. Fato este que pode ter contribuído para os resultados verificados.

Além disso, quando consideradas as áreas do defeito médias obtidas pelo *sunset laser* para os corpos-de-prova classificados com as notas 3, 4 e 5 (Tabela 26), que foram as notas mais atribuídas durante a análise visual, verifica-se apenas para *E. deanei* a tendência de elevação da área do defeito com aumento de todas as notas atribuídas. Enquanto para *E.*

benthamii, *E. dorrigoensis* e *E. dunnii*, a área média do defeito para os corpos-de-prova que receberam a nota 3 foi superior a dos corpos-de-prova que receberam a nota 4.

TABELA 26 – ÁREA DO DEFEITO MÉDIA OBTIDA PELO MÉTODO DO *sunset laser* PARA OS CORPOS-DE-PROVA DA MADEIRA DAS ESPÉCIES *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus deanei*, *Eucalyptus dorrigoensis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus smithii* CLASSIFICADOS COM AS NOTAS 3, 4, E 5 SEGUNDO A ASTM D1666 – 11

Espécie	Percentual médio da área do defeito (%)		
	Nota 3	Nota 4	Nota 5
<i>E. benthamii</i>	22,22	19,78	22,08
<i>E. deanei</i>	19,58	20,50	20,03
<i>E. dorrigoensis</i>	24,57	20,35	22,01
<i>E. dunnii</i>	19,68	19,36	19,90
<i>E. smithii</i>	20,21	22,18	22,24
Média	21,25	20,43	21,25

FONTE: O autor (2018).

Possivelmente o resultado observado para essas três espécies, se deve mais às limitações apresentadas pela análise visual do que propriamente à técnica do *sunset laser*, isso porque, as superfícies classificadas pela norma D 1666-11 (ASTM, 2011) com as notas 3 e 4 consideram defeitos muito semelhantes, prejudicando a avaliação visual. Andrade et al. (2016), ao avaliarem a qualidade da superfície pela técnica *sunset laser* de madeiras classificadas com as notas 3 e 4, verificaram que a técnica *sunset laser* foi mais eficiente na avaliação de pequenas diferenças de defeitos da madeira processada mecanicamente em comparação com a avaliação visual.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando os resultados obtidos para as propriedades físicas e mecânicas das espécies estudadas, concluiu-se que:

- As cinco espécies apresentaram massa específica básica de média a alta, sendo consideradas apropriadas para produção de madeira serrada quanto a esta propriedade.
- As espécies estudadas apresentaram contração volumétrica classificada como alta, favorecendo a instabilidade dimensional quando associada grã irregular e aos elevados coeficientes de anisotropia de contração.
- Todas as espécies avaliadas exibiram bons resultados para resistência mecânica, apresentando potencial para emprego em usos estruturais.

Considerando os resultados obtidos para a qualidade de toras das espécies estudadas, concluiu-se que:

- As espécies avaliadas apresentaram toras de boa qualidade com baixos índices de conicidade e de rachaduras de topo de toras, não sendo observado o efeito da classe diamétrica sobre essas características.

Considerando os resultados obtidos para o rendimento e qualidade de madeira serrada, concluiu-se que:

- As menores intensidades e ocorrência de defeitos foram apresentadas pelas espécies *E. dunnii* e *E. deanei*.
- O diâmetro de toras apresentou pouca influência sobre a qualidade de madeira serrada, verificando-se apenas no caso do encurvamento, tendência de redução da intensidade deste defeito, com a elevação da classe diamétrica.
- Devido à utilização do desdobro programado, o diâmetro de toras não interferiu no rendimento em madeira serrada, verificando-se que os maiores aproveitamentos foram obtidos por *E. dunnii*.
- Os rendimentos obtidos e as intensidades e ocorrência de defeitos para todas as espécies avaliadas foram satisfatórios, indicando que essas podem ser empregadas na produção de madeira serrada em regiões de ocorrência de geadas.

Considerando os resultados obtidos na usinagem da madeira, concluiu-se que:

- As diferentes metodologias de avaliação indicaram que as espécies avaliadas apresentaram baixa qualidade de superfície usinada, provocadas principalmente pelos parâmetros de corte adotados no aplainamento da madeira.

Diante das conclusões obtidas, recomenda-se:

- A realização de estudos que envolvam a caracterização anatômica das espécies avaliadas.
- A determinação da variação longitudinal de todas as propriedades físicas e mecânicas da madeira das espécies aqui consideradas.
- A condução de ensaios de aplainamento para as espécies avaliadas que empreguem parâmetros de cortes distintos dos adotados neste estudo, utilizando menores velocidades de avanço, combinadas a diferentes rotações do eixo porta-ferramentas, para a obtenção de superfícies de melhor qualidade.
- O desenvolvimento de estudos que avaliem o comportamento da madeira das espécies estudadas durante o processo de secagem.

REFERÊNCIAS

ADORNO, M. F. C.; GARCIA, J. N. Correlções lineares entre as principais características tecnológicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 44-53, 2003.

ALVES, I. C. N.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; SILVA, H. D. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose Kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D1666 – 11**: standard test methods for conducting machining tests of wood and wood-base panel materials. West Conshohocken, 2011.

AMPARADO, K. F.; CARVALHO, A. M.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. F. Caracterização do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus saligna* Smith nas condições verde e seca. **Revista Florestal Venezuelana**, ano XLII, v. 52, p. 71-76, 2008.

ANDRADE, A. C. A. **Sunset laser na análise de defeitos em madeiras usinadas**. 41 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015a.

ANDRADE, A. **Pisos de madeira**: características de espécies brasileira. Piracicaba: ANPM, 2015b. 184 p.

ANDRADE, A. C. A.; SILVA, J. R. M.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; MOULIN, J. C. Utilização da técnica sunset laser para distinguir superfícies usinadas de madeira com qualidades similares. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 159-162, 2016.

ANJOS, R. A. M. **Estudo da qualidade de madeira serrada de três espécies de eucalipto**. Tese, Universidade Federal do Paraná. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ANJOS, R. A. M.; FONTE, A. P. Rendimento em madeira serrada de espécies de *Eucalyptus*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 1, p. 26-32, 2017a.

ANJOS, R. A. M.; FONTE, A. P. N. Comparação da qualidade da madeira serrada de três espécies de *Eucalyptus*. **Ambiência**, Guarapuava, v. 13, n. 1, p. 151-165, 2017b.

ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 399-416, 2007.

ARNOLD, R.; LI, B.; LUO, J.; BAI, F.; BAKER, T. Selection of cold-tolerant *Eucalyptus* species and provenances for inland frost-susceptible, humid subtropical regions of southern China. **Australian Forestry**, v. 78, n. 3, p. 180-193, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14806**: madeira serrada de eucalipto - Requisitos. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941**: madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14929**: madeira – Determinação do teor de umidade de cavacos – Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2017.

BARBOSA, C. G.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. Elaboração de programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 40-48, 2005.

BATISTA, C. D.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.

BAUER, K. **Development and optimisation of a low-temperature drying schedule for *Eucalyptus grandis* (Hill) ex Maiden in a solar-assisted timber dryer**. 178 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim, Hohenheim, 2003.

BELTRAME, R.; SOUZA, J. T.; MACHADO, W. G.; VIVIAN, M. A.; BULIGON, E. A.; PAULESKI, D. T.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) em três estratos fitossociológicos. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 02, p. 54-69, 2010.

BENJAMIN, C. A. **Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Corymbia (Eucalyptus) citriodora* e *Eucalyptus grandis***. 158 f. Tese

(Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

BENIN, C. C.; WATZLAWICK, L. F.; HILLIG, E. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* sob efeito do espaçamento de plantio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1375-1384, 2017.

BIECHELE, T.; NUTTO, L.; BECKER, G. Growth strain in *Eucalyptus nitens* at different stages of development. **Silva Fennica**, v. 43, n. 4, p. 669–679, 2009.

BLACKWELL, P.; WALKER, J. C. F. L. Sawmilling. In: WALKER, J. C. F. (Ed.). **Primary wood processing: principles and practice**. 2nd ed. Berlin: Springer, 2006. p. 203 – 250.

BONDUELLE, A. Usinagem, qualidade e custo. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 61, p. 82 - 86, 2001.

BONDUELLE, G. M.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G.; ROCHA, V. Y. Análise da massa específica e da retratibilidade da madeira de *Tectona grandis* nos sentidos axial e radial do tronco. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 671-680, 2015.

BRAGA, P. P. C. **Qualidade na usinagem e no acabamento da madeira de *Coffea arabica***. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira –Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

BRAZ, R. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; RODRIGUES, B. P.; ARANTES, M. D. C. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p. 663-670, 2013.

BOCAGE, I.; ULERY, A. Caracterización anatómica de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage cultivado em Uruguay. In: 2da Jornada Florestal: visita a ensayos de silvicultura y mejoramiento de pinos y eucaliptos, 2005, [S.I.]. **Anais...** [S.I.]: facultad de Agronomia - UDELAR, 2005. p. 19 - 21.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. Anatomia da madeira. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

CADEMARTORI, P. H. G.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; MASTELLA, T.; VARGAS, J. F.; SANTINI, E. J. Uso de herbicida na redução das tensões de crescimento na madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 801-808, 2015.

CADEMARTORI, P. H. G.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M.; SCHNEID, E.; HAMM, L. G. Qualidade da madeira serrada de *Pinus elliottii* Engelm. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 577-583, 2012.

CAIXETA, R. P.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S. Classificação de *Eucalyptus* relacionados com a qualidade da madeira após a secagem natural. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 49-58, 2002.

CAIXETA, R. P.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T. Propriedades e classificação da madeira aplicadas à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 43-51, 2003.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D. Influência da posição diametral das tábuas e da vaporização nos defeitos de secagem de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 10-18, 2007.

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; CONEGLIAN, A.; BARREIROS, R. M. Qualidade da secagem de *Eucalyptus grandis* mediante vaporização simultânea em toros e em madeira serrada. **Silva Lusitana**, v. 14, n. 2, p. 169 - 180, 2006.

CAMCORE. **Camcore Annual Report**. Raleigh, 2011. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.659.7936&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

CARVALHO, A. M.; GONÇALVES, M. P. M.; AMPARADO, K. F.; LATORRACA, J. V. F.; APARECIDA GARCIA, R. A. Correlações da altura e diâmetro com tensões de crescimento em árvores de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*. **Árvore**, Viçosa, v.34, n.2, p.323-331, 2010.

CARVALHO, D. E. **Melhoria no desdobro em uma serraria de eucalipto para madeira destinada a construção**. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

CARVALHO, D. E.; SANTINI, E. J.; VIVIAN, M. A.; FREITAS, D. L.; AZAMBUJA, R. R. Variação dimensional da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 3, 2015.

CATRO, E.; NIEVES, I. U.; MULLINNIX, M. T.; SAGUES, W. J.; HOFFMAN, R. W.; FERNÁNDEZ-SANDOVAL; TIAN, Z.; ROCKWOOD, D. L.; TAMANG, B.; INGRAM, L.

O. Optimization of dilute-phosphoric-acid steam pretreatment of *Eucalyptus benthamii* for biofuel production. **Applied Energy**, v. 125, p. 76-83, 2014.

CHALCAT, J.C.; MUHAYIMANA, A.; HABIMANA, J.B.; CHABARD, J.L. Aromatic plants of Rwanda. II. Chemical composition of essential oils of ten *Eucalyptus* species growing in Ruhunde Arboretum, Butare, Rwanda. **Journal of Essential Oil Research**, v. 9, n. 2, p. 159-165, 1997.

CHAFE, S. C. Variation in longitudinal growth stress, basic density and modulus of elasticity with height in the tree. **Australian Forest Research**, Canberra, v.11, n.1, p.79-82, 1981.

CHISOWA, E. H. Chemical Composition of Essential Oils of Three *Eucalyptus* Species Grown in Zambia. **Journal of Essential Oil Research**, v. 9, n. 6, p. 653-655, 1997.

CHUCHALA, D.; ORLOWSKI, K. A.; SANDAK, A.; SANDAK, J.; PAULINY, D.; BARANSKI, J. The effect of wood provenance and density on cutting forces while sawing scots pine (*Pinus sylvestris* L.). **Bioresources**, Raleigh, v. 9, n. 3, p. 5349-5361, 2014.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). **COPANT 461**: Maderas – método de determinación del peso específico aparente. Buenos Aires, 1972a.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). **COPANT 462**: Maderas – método de determinación de la contracción. Buenos Aires, 1972b.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). **COPANT 463**: Maderas – método de determinación del cizallamiento paralelo al grano. Buenos Aires, 1972c.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). **COPANT 464**: Maderas – método de determinación de la compresión axial o paralela al grano. Buenos Aires, 1972d.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). **COPANT 465**: Maderas – método de determinación de la dureza. Buenos Aires, 1972e.

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT). **COPANT 555**: Maderas – método de ensayo de flexión estática. Buenos Aires, 1973.

COPPEN, J. J. W. **Eucalyptus**: the genus *Eucalyptus*. New York: Taylor & Francis, 2005. 464 p.

CRÊSPO, E. A. **Tensão de crescimento e suas consequências, controláveis e não controláveis, no desdobro e secagem do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna***. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

CUNHA, A. B.; FRANÇA, M. C.; ALMEIDA, C. C. F.; GORSKI, L.; CRUZ, R. C.; SANTOS, D. Avaliação do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* e de *Eucalyptus grandis* por meio do desdobro tangencial e radial. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 241-250, 2015.

CUNHA, A. B.; LONGO, B. L.; RODRIGUES, A. A.; BREHMER, D. R. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 259-267, 2014.

DAGNE, E.; BISLAT, D.; ALEMAYEHU, M.; WORKU, T. Essential oils of twelve *Eucalyptus* species from Ethiopia. **Journal of Essential Oil Research**, v. 12, n. 4, p. 467-470, 2000.

DANIELLI, F. E.; GIMENEZ, B. O.; OLIVEIRA, C. K. A.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Modelagem no rendimento do desdobro de toras de *Manilkara* spp. (Sapotaceae) em serraria do estado de Roraima, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 641-651, 2016.

DEL MENEZZI, C. H. S.; NAHUZ, M. A. R. Comportamento de *Eucalyptus grandis* no desdobro. **Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 563-571, 1998.

DIAS JÚNIOR, A., F.; SANTOS, P. V.; PACE, J. H. C.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais para uso em movelaria. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 01, p. 93-107, 2013.

ELEOTÉRIO, J. R.; HORNBURG, K. F.; REICHERT, D.; BAGATTOLI, T. R.; MENEGHELLI, I. Efeito da espécie e da condição de secagem na formação de defeitos na madeira serrada de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 41-47, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA (EPAGRI). **Zoneamento agroecológico e socioeconômico do Estado de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://www.ciram.epagri.sc.gov.br/images/documentos/ZonAgroecoMapas.pdf>>. Acessado em 07/12/2016.

ENGELUND, E. T.; THYGESEN, L. G.; SVENSSON, S.; HILL, C. A. S. A critical discussion of the physics of wood-water interactions. **Wood Science Technology**, v. 47, p. 141-161, 2013.

EYMA, F.; MEAUSOONE, P. J.; MARTIN, P. Strains and cutting forces involved in the solid wood rotating cutting process. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 148, n. 2, p. 220-225, 2004.

EUCLID. **The classification of the genus *Eucalyptus***. Disponível em: <<https://www.anbg.gov.au/cpbr/cd-keys/Euclid/sample/html/classification.htm>>. Acesso em: 6 mar. 2017.

EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; DELLA LUCIA, R. M.; LOBO, L. M.; SOUZA, M. O. A. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no sentido radial e longitudinal. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 02, p. 01-19, 2010.

FABROWSKI, F. J.; MUÑIZ, G. I. B.; NAKASHIMA, T.; NISGOSKI, S.; KLOCK, U. Investigação da presença de óleo essencial em *Eucalyptus smithii* R. T. Baker por meio da anatomia de seu lenho e casca. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 95-106, 2003.

FARIA, J. M. S.; LIMA, A. S.; MENDES, M. D.; LEIRIA, R.; GERALDES, D. A.; FIGUEIREDO, A. C.; TRINDADE, H.; PEDRO, L. G.; BARROSO, J. G.; SANCHES, J. *Eucalyptus* from Mata Experimental do Escaroupim (Portugal): evaluation of essential oil composition from sixteen species. **Acta Horticulturae**, n. 925, p. 61-66, 2011.

FERREIRA, G. W.; GONZAGA, J. V.; FOELKEL, C. E. B.; ASSIS, T. F.; RATNIEKS, E.; SILVA, M. C. M. Qualidade da celulose kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 41-63, 1997.

FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C.; TRUGILHO, P. F. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 10-21, 2004.

FLORENCE, R. G. **Ecology and siliculture of eucalypt forests**. Collingwood: CSIRO, 2004. 416 p.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. ***Eucalyptus* no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016. 448 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO).

Eucalypts for planting. Rome: FAO, 1979. 745 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/ac459e.pdf>>. Acesso em: 8 jun. 2017.

FRIGOTTO, T.; NAVROSKI, M. C.; PEREIRA, M. O.; MAZZO, M. V.; SOUZA, P. F. Seleção de procedências de *Eucalyptus smithii* na região norte de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EUCALIPTO, III., 2015, Vitória. **Anais...** Vitória: [S. I.], 2015. p. [S. I.].

GONÇALEZ, J. C.; BREDAS, L. C. S.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando o seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. S.; DELLA LUCIA, R. M.; SARTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 501-509, 2009.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, T. S.; SILVA, G. F.; NAPPO, M. E.; TOMAZELO FILHO, M. Parâmetros dendrométricos e correlações com propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 947-959, 2010.

GRAÇA, M. E. C.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrota e enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 135-138, 1999.

HASELEIN, C. R.; BERGER, R.; GOULART, M.; STHAL, J.; TREVISAN, R.; SANTINI, E. J.; LOPES, M. C. Propriedades de flexão estática da madeira úmida e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 147-152, 2002.

HASELEIN, C. R.; LOPES, M. C.; SANTINI, E. J.; LONGUI, S.; ROSO, S.; FERNANDES, D. L. G.; MENEZES, L. F. Características tecnológicas da madeira de árvores de matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 145-155, 2004.

HERNÁNDEZ, M.; ZADERENKO, C.; MONTEOLIVA, S. Efecto de las tensiones de crecimiento en el rendimiento y calidad del aserrado de *Eucalyptus dunnii*. **Maderas, Ciencia y tecnología**, Concepción, v. 16, n. 4, p. 403-412, 2014b.

HERNÁNDEZ, M.; ZADERENKO, C.; MONTEOLIVA, S. Tensiones de crecimiento y propiedades físicas de la madera de *Eucalyptus dunnii* implantado em Argentina. **Maderas, Ciencia y tecnología**, Concepción, v. 16, n. 3, p. 373-384, 2014a.

HIGA, R. C. V. **Avaliação e recuperação de *Eucalyptus dunnii* Maiden atingidos por geadas em Campo do Tenente, PR**. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

HIGA, R.C.V.; HIGA, A.R.; TREVISAN, R.; SOUZA, M.V.R. Comportamento de 20 espécies de *Eucalyptus* em área de ocorrência de geadas na região sul do Brasil. In: IUFRO Conference on silviculture and improvement of *Eucalyptus*, 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1997. p. 106 - 110.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos Potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Comunicado Técnico**, Colombo, n. 100, 2003. 4 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/309648/1/comtec100.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2017.

HIRIGOYEN, A.; RACHID, C. Selección de funciones de distribución de frecuencias diamétricas, para *Pinus taeda*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus dunnii* en Uruguay. **Bosque**, v. 35, n. 3, p. 369-376, 2014.

HORNBURG, K. F.; ELEOTÉRIO, J. E.; BAGATTOLI, T. R.; NICOLETTI, A. L. Qualidade das toras e da madeira serrada de seis espécies de eucalipto cultivadas no litoral de Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 96, p. 463-471, 2012.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 3. ed. New York : John Wiley & Sons, 1982. 402p.

HUNTER, J. T.; ALEXANDER, J. **Vegetation and Floristics of the Guy Fawkes River National Park Glen Innes District**. [S.I.]: New South Wales National Parks and Wildlife Service, 1999. 244 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/John_Hunter25/publication/280843713_Vegetation_and_flora_of_Guy_Fawkes_National_Park/links/55c94a9b08aeca747d67149b.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório 2017**. [S.I.], 2017. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 7 set. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL (IBDF). **Norma para a classificação de madeira serrada de folhosas**. Brasília, 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL (IBDF). **Norma para medição e classificação de toras de madeira de folhosas**. Brasília, 1984.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo: IPT. 2013. 103 p.

JAEGER, P.; ZIEGER, M. Avaliação das propriedades mecânicas de painéis compensados de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus dunnii*/*Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 329-338, 2007.

JANKOWSKY, I. P. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum. 1990. 172 p.

JANKOWSKY, I. P. Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial. **Circular Técnica**, Piracicaba, n. 81, 1979. 15 p. Disponível em: <
<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr081.pdf>> Acesso em: 28 out. 2018.

JUAN, L. W.; LUCIA, A.; ZERBA, E. N.; HARRAND, L.; MARCO, M.; MASUH, H. M. Chemical Composition and Fumigant Toxicity of the Essential Oils from 16 Species of *Eucalyptus* Against *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) Adults. **Journal of Economic Entomology**, v. 104, n. 3, p. 1087-1092, 2011.

JUIZO, C. G. F.; LIMA, M. R.; SILVA, D. A. Qualidade da casca e da madeira de nove espécies de Eucalipto para produção de carvão vegetal. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 3, p. 386-390, 2017.

JUIZO, C. G. F.; ROCHA, M. P.; BILA, N. F. B. Avaliação do rendimento em madeira serrada de eucalipto para dois modelos de desdobro numa serraria portátil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 4, p. 543-550, 2014.

KJAER, E.; AMARAL, W.; YANCHUCK, A.; GRAUDAL, L. Strategies for conservation of forest genetic resources. In: FAO, FLD, IPGRI (Ed.). **Forest genetic resources conservation and management**. Rome: International Plant Genetic Resources Institute. 2004. p. 5-24.

KLITZKE, R.J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007. p. 271-342.

KOLLMANN, F. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Madrid: Instituto Florestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera, 1959, 675 p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin, Springer Verlag, 1968, 592 p.

KONZEN, E. R.; NAVROSKI, M. C.; PEREIRA, M. P.; NASCIMENTO, B.; MENEGUZZI, A.; SOUZA, P. F. Genetic variation for growth variables of *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage and *E. smithii* R. T. Baker provenances in Southern Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 359-366, 2017.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Variação da densidade aparente e resistência à compressão paralela às fibras em função da intensidade de desbaste, adubação e posição radial em *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden. **Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 551-559, 2010.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Efeito do desbaste no teor de umidade natural da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 03, n. 01, p. 43-54, 2012.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; PIEDADE, S. M. S. Rachaduras de extremidades de tora e suas implicações nas rachaduras da madeira serrada. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 13 - 24, 2002.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; STAPE, J. L.; PIEDADE, S. M. S. Efeito do desbaste e da fertilização nas tensões de crescimento em *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 70, p. 171-183, 2006.

LIMA, I. L.; GARCIA, J. N.; STAPE, J. L. Influência do desbaste e da fertilização no deslocamento da medula e rachaduras de extremidade de tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 170-177, 2007.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 65, p. 09-17, 2011.

LIMA, I. L.; STAPE, J. L. Caracterização da madeira serrada em clones de *Eucalyptus*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 89, p. 55-62, 2017.

LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; CRUZ, C. R. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 107-116, 2004.

LITTLE, K. M.; GARDNER, R. A. W. Coppicing ability of 20 *Eucalyptus* species grown at two high-altitude sites in South Africa. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 33, n. 2, p. 181-189, 2003.

LOBÃO, M. S.; DELLA LÚCIA, R. M.; MOREIRA, M. S. S.; GOMES, A. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 889-894, 2004.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 62, p. 13-23, 2002.

LOPES, C. S. D. **Caracterização da madeira de três espécies de eucalipto para uso em movelaria**. 89 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; PANSINI, A. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 315-322, 2011.

LUCAS FILHO, F. C. **Análise da usinagem da madeira visando a melhoria de processos em indústrias de móveis**. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MANHIÇA, A. A.; ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK JÚNIOR, R. Rendimento no desdobro de *Pinus* sp. Utilizando modelos de corte numa serraria de pequeno porte. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 409-420, 2012.

MARCHESAN, R. **Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MATT, R. Field guide to the cultivated eucalypts (Myrtaceae) and how to identify them. **Annals of Missouri Botanical Garden**, v. 99, n. 4, p. 642-687, 2014.

MELO, L. E. L. **Influência da estrutura anatômica no consumo de energia específica de corte da madeira de *Eucalyptus* e *Corymbia***. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MELO, L. E. L.; SILVA, J. R. M.; Napoli, A.; LIMA, J. T.; NASCIMENTO, D. F. R. Influence of anatomical and basic density on the specific cutting force of the wood from *Corymbia citriodora* Hill & Johnson. **Forest Systems**, v. 24, n. 3, 2015.

MELO, L. E. L.; SILVA, J. R. M.; NAPOLI, A.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; NASCIMENTO, D. F. R. Study of the physical properties of *Corymbia citriodora* wood for the prediction of specific cutting force. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 701-708, 2016.

MIRANDA, M. C.; CASTELO, P. A. R.; MIRANDA, D. L. C. M.; RONDON, E. V. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 03, n. 02, p. 55-65, 2012.

MIRANDA, J. A. C.; NAHUZ, M. A. R. Estudo do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna* Smith nos índices de rachamento após o desdobro e após a secagem. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.55, p.107- 116, 1999.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 111 p.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; BRAZ, R. L.; DUARTE, A. P. C.; ALVES, R. C. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 2, p. 2186-2192, 2014.

MOURA, L. F.; BRITO, J. O.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. Efeitos da termorreificação na perda de massa e propriedades mecânicas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 305-314, 2012.

MÜLLER, B. V. **Efeito de sistemas de desdobro na qualidade e rendimento de madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MÜLLER, B. V.; ROCHA, M. P.; CUNHA, A. B.; KLITZKE, R. J.; NICOLETTI, M. F. Avaliação das principais propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 4, p. 535-542, 2014.

MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TIMOFEICZYK JUNIOR. Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. *Floresta*, Curitiba, v. 35, n. 3, p. 473-483, 2005.

NASCIMENTO, D. F. R.; MELO, L. E. L.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A. Effect of moisture content on specific cutting energy consumption in *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus urophylla* woods. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 221-227, 2017.

NAYLOR, A.; HACKNEY, P. A review of wood machining literature with a special focus on sawing. **BioResources**, Raleigh, v. 8, n. 2, p. 3122-3135, 2013.

NEWETE, S. W.; OBERPRIELER, R. G.; BYRNE, M. J. The host range of the Eucalyptus Weevil, *Gonipterus "scutellatus"* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae), in South Africa. **Annals of Forest Science**, v. 68, n. 5, p. 1005-1013, 2011.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 67-76, 1998.

NONES, D. L.; BRAND, M. A.; CUNHA, A. B.; CARVALHO, A. F.; WEISE, S. M. K. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 57-64, 2015.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 56, p. 113-124, 1999.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p. 115-127, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 929-936, 2010.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. R. **Árvore**, Viçosa, v.27, n.3, p. 381-385, 2003.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; REZENDE, M. A.; NASCIMENTO, A. M.; SEVERO, E. T. D.; ABREU, H. S. Análise de densidade da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. por meio de radiação gama de acordo com as direções estruturais (longitudinal e radial) e a idade de crescimento. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 2, p. 47-57, 2003.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; CARVALHO, A. M.; GARCIA, R. A. Avaliação da superfície da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden tratada termicamente. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 145-152, 2015.

PALLET, R. N.; SALE, G. The relative contributions of tree improvement and cultural practice toward productivity gains in *Eucalyptus* pulpwood stands. **Forest Ecology and Management**, n. 193, p. 33-43, 2004.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná. **Documentos**, Colombo, n. 129, 2006. 45 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Piracicaba, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Paulo_Sentelhas/publication/285651687_Agrometeorologia_Fundamentos_e_aplicacoes_praticas/links/5806560c08aeb85ac85f46ee/Agrometeorologia-Fundamentos-e-aplicacoes-praticas.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2017.

PEREIRA, J. C. D.; MATTOS, P.P.; SCHAITZA, E. G. Características da Madeira de Seis Espécies de Eucalipto Plantadas em Colombo – PR. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Colombo, n. 15, 2003. 14 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/281005/caracteristicas-da-madeira-de-seis-especies-de-eucalipto-plantadas-em-colombo---pr>>. Acesso em: 22 mai. 2017.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. **Documentos**, Colombo, n. 38, 2000. 113 p.

PÉREZ, S.; RENEDO, C. J.; ORTIZ, A.; MANÁNA, M. Energy potential of waste from 10 forest species in the North of Spain (Cantabria). **Bioresource Technology**, n. 99, p. 6339-6345, 2008.

POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V.F.; CARVALHO, A. M. Estrutura Anatômica e Propriedades Físicas da Madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 2, p. 117-126, 2011.

QUINN, L. D.; GORDON, D. R.; GLASER, A.; LIEURANCE, D.; FLORY, S. L. Bioenergy Feedstocks at Low Risk for Invasion in the USA: a “White List” Approach. **BioEnergy Research**, v. 8, n. 2, p. 471-481, 2015.

REZENDE, R. N.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; NAPOLI, A.; ANDRADE, H. B.; FARIA, A. L. R. Air drying of logs from na *Eucalyptus urophylla* clone for carbonization use. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 565-572, 2010.

RIBEIRO, E. S. **Propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso**. 183 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como Fontes de Matéria Prima para Serrarias**. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. Efeito de modelo de corte nas dimensões de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 94-103, 2001.

ROCHA, M. P.; TOMASELLI, I. Efeito do modelo de desdobro na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 70-83, 2002.

ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 314-321, 2006.

ROSSO, S. **Qualidade da madeira de três espécies de *Eucalyptus* resultante da combinação dos métodos de secagem ao ar livre e convencional**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

SANTOS, G. R. V. **Otimização da secagem da madeira de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden)**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SANTOS, P. E. T.; GARCIA, J. N.; GARIBALDI, I. O. Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 142-151, 2004.

SANTOS, G. A.; VAGAES, T. C.; ASSIS, T. F.; QUEVEDO, F. F. Interação ambiente x material genético, com ênfase nas espécies de difícil florescimento de *Eucalyptus* subtropicais. In: Workshop de Manejo de Pomares de Polinização Controlada, 2012, Lençóis Paulista. **Anais...** Lençóis Paulista: IPEF, 2012. p. 19 - 22.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Acabador de móveis**. Ubá: CFP/JAGS, 1995. 29 p.

SEVERO, E. T. D. Qualidade da secagem de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 109-124, 2000.

SHIMIZU, J.Y.; CARVALHO, P. E. R. Primeira aproximação na indicação de eucaliptos para a produção de madeira na região de Quaraí, RS. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 40, p. 101-110, 2000.

SILVA, F. A. V.; SILVA, J. R. M.; MOULIN, J. C.; NOBRE, J. R. C.; ANDRADE, A. C. A. A.; CASTRO, J. P. Qualidade da superfície usinada em pisos de madeira de *Corymbia* e *Eucalyptus*. **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 3, p. 397-403, 2016.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT JÚNIOR, S.; MATOS, J. L. M. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

SILVA, J. R. M.; MARTINS, M.; OLIVEIRA, G. M. V.; BRAGA, P. P. C. Parâmetros de qualidade da usinagem para determinação dos diferentes usos da madeira de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavra, v. 15, n. 1, p. 75-83, 2009.

SILVA, J. R. M.; MUÑIZ, G. I. B.; LIMA, J. T.; BONDUELLE, A. F. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Árvore**, Viçosa, v. 9, n. 3. P. 479-487, 2005.

SIMÃO, R. L.; NARCISO, A. G. S. O.; SOMMER, S. M. Characteristics of Wood and Pulp from *Eucalyptus dorrigoensis* Trees. In: 5th International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp, 2011, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: [S.I.], 2011. p. [S.I].

SIMÕES, D. S. **Ambiente físico e meteorológico para análise do risco de geada**. 133 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de pesquisas em sensoriamento remoto e meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SIMPSON, W. T. **Dry kiln operator's manual**. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1991. 274p.

SKAAR, C. **Wood-water relations**. Berlin: Springer-Verlag, 1988. 263 p.

SMANIOTTO, M. A.; SILVA, A.; CUNHA, U. S.; GARCIA, M. S. Biologia de *Thaumastocoris peregrinus* Carpinteiro e Dellapé (Hemiptera: Thaumastocoridae) em Dez Espécies de Eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 679-685, 2017.

SNYDER, R.; MELO-ABREU, J. P. **Frost Protection**: fundamentals, practice, and economics. Rome: FAO, 2005. Disponível em: <
<http://www.fao.org/docrep/008/y7223e/y7223e00.htm#Contents>>. Acesso em: 5 jun. 2017.

SORAGI, L. C. **Qualidade de superfícies usinadas em madeira de *Toona ciliata* M. Roem.** 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SOUSA JÚNIOR, W. P. **Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus urophylla* oriundas dos municípios de Turmalina e Paraopeba (MG).** 64 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SOUZA, E. M. **Influência dos parâmetros de usinagem da madeira de *Eucalyptus* sp. No consumo de energia específica de corte em serra circular.** 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SOUZA, E. M.; SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; NAPOLI, A.; RAAD, T. J.; GONTIJO, T. G. Specific cutting energy consumption in a circular saw for *Eucalyptus* stands VM01 and MN463. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 109-115, 2011.

SOUZA, J. T.; TREVISAN, R.; DENARDI, L.; STANGERLIN, D. M.; VIVIAN, M. A.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Qualidade da Madeira serrada proveniente de árvores dominantes e médias de *Eucalyptus grandis* submetidas à secagem. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 167-174, 2012.

SOUZA, M. O. A.; SILVA, J. C.; DELLA LUCIA, R. M.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake em ensaios de usinagem, visando à produção moveleira. **Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 751-75, 2009.

SPEAR, M.; WALKER J. Dimensional instability in timber. In: WALKER, J (Ed.). **Primary wood processing: principle and practice**. 2nd ed. Berlin: Springer, 2006. p. 95 – 120.

STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G. Propriedades de flexão estática da madeira de *Carya illionensis* em duas condições de umidade. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 02, p. 70-79, 2010.

STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J.; SUSIN, F.; MELO, R. R.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. Uso de estufa solar para secagem de madeira serrada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 461 - 472, 2009.

THUA, P. Q.; DELLB, B.; BURGESS, T. I. Susceptibility of 18 eucalypt species to the gall wasp *Leptocybe invasa* in the nursery and young plantations in Vietnam. **Science Asia**, n. 35, p. 113-117, 2009.

TREVISAN, R.; DENARDI, E. E. L.; HASELEIN, C. R.; CARON, B. O. Variação axial e efeito do desbaste na massa específica das árvores centrais de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 2, p. 312-318, 2012.

TREVISAN, R.; DENARDI, L.; CARDOSO, G. V.; HASELEIM, C. R.; SANTINI, E. J. Variação axial do índice de rachaduras na base e no topo de toras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 075-081, 2013.

TRUEMAN, S. J.; MCMAHON, T. V.; BRISTOW, M. Biomass partitioning in *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus cloeziana* and *E. dunnii* stock plants in response to temperature. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 25, n. 4, p. 504–509, 2013.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; PÁDUA, F. A.; SORAGI, L. C.; ANDRADE, C. R. Deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em seis clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 279-286, 2006.

TRUGILHO, P. F.; VITAL, B. R. Correlação entre algumas características físicas, químicas e anatômicas e a variação dimensional da madeira de eucalipto. **Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 4, p. 515-533, 1996.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman e Hall, 1991. 494p

TURNBULL, J. W.; ELDRIDGE, K. G. The natural environment of *Eucalyptus* as the basis for selecting resistance species. In: Proceedings of IUFRO/AFOCE symposium on frost resistant *Eucalyptus*, 1983, Bordeaux. **Anais...** Bordeaux: IUFRO/AFOCE, 1983. p. 43 - 62.

URIBE, G. R. **Ensaio de procedências de Eucalyptus spp. L'Herit. nas condições climáticas de dois locais do Estado do Paraná – Brasil**. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1978.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A.; MARTINS, I. S. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* Willd aos sete anos de idade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 85-92, 1999.

VALENCIA, J.; HARWOOD, C.; WASHUSEN, R.; MORROW, A.; WOOD, M.; VOLKER, P. Longitudinal growth strain as a log and wood quality predictor for plantation-grown *Eucalyptus nitens* sawlogs. **Wood Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 15-34, 2011.

VANCLAY, J. K.; HENSON, M.; PALMER, G. Color variation and correlations in *Eucalyptus dunnii* sawnwood. **Journal of Wood Science**, v. 54, n. 54, p. 431-435, 2008.

VÁZQUEZ, M. C. T. Tensiones de crecimineto en *Eucalyptus globulus* de Galicia (Epaña). Influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado. **Maderas. Ciencia y tecnologia**, Concepción, v. 3, n. 1-2, p. 68-89, 2001.

WEIHUI, W. Species and provenance selection for *Eucalyptus* leaf oils production. **Forest Research**, v. 10, n. 1, p. 104-107, 1997.

WILSON, P.J. Splitting studies on logs of *Eucalyptus macarthurii*, *E. elata*, and *E. radiata*. In: Institute for Commercial Forestry Research. **Anais...** Pietermaritzburg: University of Natal, 1985, p.135-142.

YONGQI, Z.; HUORAN, W.; RONGGUI, Z.; QINGSHENG, M. Trials of *Eucalyptus smithii* and other Eucalypt Species in Yunnan Province, China. In: Proceedings of an international workshop held at Zhangzbou, Fujian Province, 1992, Zhangzbou. **Anais...** Canberrra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1994. p. 116-122.

ZRIRA, S.; BESSIERE, J. M.; MENUT, C.; ELAMRANI, A.; BENJILALI, B. Chemical composition of the essential oil of nine *Eucalyptus* species growing in Morocco. **Flavour and Fragrance Journal**, n. 19, p. 172-175, 2004.